



# 海洋工程技术 发展现状及趋势

□李润培/上海交通大学船舶与海洋工程学院

世界上现代化的一流船厂都把高新技术船舶与大型海洋工程结构物作为其纲领性产品,海洋工程技术是造船界关注的技术领域之一。海洋工程技术涉及的领域很广,本文仅就潜水技术、海底管线埋设、检测与维修技术、海洋空间利用技术和海上施工技术等的发展现状及趋势作一介绍。

## 一、国内外海洋工程技术的发展现状及趋势

随着近年来海洋开发“热”的升温,特别是专属经济区资源勘探和开发的实施,海洋工程技术得到了迅猛发展。

——在潜水器技术方面。目前世界上建造的载人潜水器超过160艘,无人潜水器超过1000艘。日本继1989年建成深海6500米载人潜水器“SHINKAI6500”以后,于1993年又建成了世界上第一艘潜深10000米的无人潜水器,用于深海矿产资源和海洋生物资源的调查研究。经过“七五”和“八五”的工作,我国的潜水器技术有了很大的发展。在无人潜水器方面,某些项目已经达到国际水平;在载人潜水器方面,潜深600米的“7103”深潜救生艇是我国第一艘载人潜水器,还有300米工作水深的“QSZ-II型双功能单人常压潜水装具系统”、潜深150米的鱼鹰I号和双功能的鱼鹰II号。综合国内从事潜水器开发的各院校、研究院和研究所的力量,我国已具有开发深海载人潜水器的技术能力。

——在海底管线埋设、检测与维修技术方面。我国海底电缆的铺设已有几十年的历史,第一条国际通讯电缆于1976年完成,1993年成功研制出MG-1型海缆埋设犁,并于同年成功完成中日光缆的埋设任务。上世纪80年代开始,英国SMD(Soil Machine Dynamics Ltd.)公司和Land & Marine Eng.公司建造了不少拖曳式埋设系统。而美国的海洋系统工程公司为AT&T研制的SCARAB号埋设机是一种ROV型(水中航行型)的埋设机,可在1850米深用喷水的方式埋设电缆至地下0.6米,可以取出埋深在1.2米以内的电缆,埋设电缆直径

为300毫米。履带爬行自走式、带有不同功能挖掘机构的埋设机是海底管道及电缆的埋设技术的发展趋势。在这种履带车载体上通过更换不同的挖沟机械,装备各种探测设备后,既能在沙泥底中进行埋设作业,也能在软岩底中进行埋设作业;既能铺设又能跟踪、挖掘、检修、复埋;既能在水下,也能在浅滩或滩涂工作。目前,这种自走式埋设机已有20多台。

作为开发海洋资源的一种活动,海洋空间利用已有相当长的历史,最早利用海面空间是两千多年前的海上交通运输。然而直到20世纪60年代,由于海洋工程等技术的逐步提高,以及城市化、工业化的迅速发展,导致陆上用地日趋紧张,使人们更加重视海洋空间的利用。海洋空间资源的开发利用可分为几个方面。第一,生活和生产空间;第二,海洋交通运输;第三,储藏和倾废空间;第四,海底军事基地。

\*解决海洋空间利用的工程技术问题也是近年来海洋工程界研究的热点。

(1)超大型浮式海洋结构的研究。在这方面,目前进行最广泛和深入的是日本和美国。日本于1999年8月4日在神奈川县横须贺海面上建成一个海上浮动机场。这个浮动机场于1995年开始研制,它由6块长380米、宽60米、厚3米的箱型结构焊接而成,上有一条1000米长,最大宽度达120米的飞机起降跑道。这种机场具有很大的军事价值,战时可以作为支持作战飞机的移动基地使用。美国Weidlinger设计院曾为纽约4号机场设计了FLAIR海上机场方案,面积达6平方公里(3600米×1680米),包括滑行跑道2条,飞行跑道4条,能够满足包括B747大型客机在内的每小时100架次的起降要求。

在我国,对超大型浮体结构的研究工作几近空白,但这并不是说我国的科学工作者对这方面的国际发展趋势和动态缺乏了解,而是对在我



国进行超大型浮体结构的应用前景及研制的必要性和战略意义缺乏认识,在研究经费上缺乏支撑。

(2)海底军事基地。海洋空间利用的一个重要方面就是海底军事基地的建造,其中包括海底导弹和卫星发射基地、反潜基地、作战指挥中心和水下武器试验场等等。目前,世界上海底军事基地最多的要数美国和前苏联。美国从上世纪60年代就开始制定一系列建立海底军事基地计划,并逐个完成了“海底威慑计划”、“深潜系统计划”、“海床计划”、“深海技术计划”等等。譬如,美国设计的陀螺型“水下居住站”可供5人小分队在2000米深的海底完成持续20天的任务;建在佛罗里达的迈阿密东南50海里海底的“大西洋水下试验与评价中心”可供潜艇和水下武器试验使用。我国虽然在小型载人潜水器和无人遥控潜水器等方面已开展了一系列研究,并取得了相关的科研成果,但以军事为目的,能在复杂的水下环境下隐蔽工作,并能完成多种作战功能的海底军事基地的研究仍处于空白。然而,作为海洋空间利用的一个重要方面,海底军事基地的开发将会提到议事日程,它不仅能提高我国军事力量和军事威慑力量,而且也会带来其他配套科学、技术的发展,其价值是不可估量的。

(3)深海作业平台。随着海上油气资源的开发不断向深海发展以及其他深海资源开发的兴起,深海作业平台成为海洋工程界的热点之一。即将投入使用的URSA张力腿平台的工作水深将达1250米,然而这些深水平台技术复杂,造价十分昂贵。因此,当前世界各国都致力于开发新型的深水平台,以降低造价。这方面的研究工作,美国处于前列。例如,美国提出一种“新一代移动式海上钻井装置——带可回收重力基础的浮力腿平台”的设计方案。该方案将甲板及上部设备支撑在一个很长的单圆柱浮力腿上。浮力腿则由八组系索固定于靠压载控制的可回收的重力基础

上。当一口井钻井完毕后,重力基础可用排除压载的方法回收,整个结构可方便地移至另一个井位。该结构具有良好的运动特性,建造简单,移动性好,兼具柱型浮标(SPAR)与张力腿平台的优点。该平台工作水深为915米的方案不包括上部设备的总造价为7500万~8500万美元,远低于同样功能的其他形式的平台。中船重工集团公司第七〇二研究所、上海交通大学等单位对适用于深水的张力腿平台和轻型张力腿平台进行了理论分析和模型试验,为深海平台研究打下了一定的基础,但研究工作远未深入。我国目前的油气资源开发主要是在100多米水深的大陆架地区,随着向深海的发展,深海作业平台必将提到议事日程上。

——各种海洋结构物由于在海洋环境中进行施工,将给海上施工技术带来极大的难度和特殊性。这里仅以海底沉管隧道的施工为例。目前世界上已建造沉管隧道110条以上(含海底和江底),其中最长的沉管隧道是美国旧金山海湾地区快速交通隧道,全长5825米,由58节管段组成。最宽的沉管隧道是比利时亚珀尔隧道,管段宽达53.1米,全长336米,单节管段最长的隧道是荷兰海姆斯普尔隧道,最长一节管段为268米,宽21.5米,重5万吨。在施工中必须解决超重大管段在浮动状态下的精确沉放问题;水下地基基础处理,通常要求平整度 $\geq 10$ 厘米;水下测量与控制问题。因此,它是工程船舶技术、激光测量技术、电子定位技术、超声波技术、高精度传感器技术和信息控制技术的综合。我国沿江、沿海城市正纷纷筹划建造沉管隧道。例如,上海已决定在吴淞口建造黄浦江沉管隧道。其由8根长为110米、宽为48米、高为10米的管段组成,每根管段重5万吨,最大作业水深29米,建成后为8车道。该沉管隧道已在上海交通大学海洋工程国家重点试验室完成管段水上运输、定位、沉放试验,现在正进行施工设备的方

案设计研究。由于沉管隧道比盾构隧道有车道多、投资省等特点,随着我国越海、越江交通事业的发展,可以预料沉管隧道的施工建造将会形成一个产业。我国台湾省、香港特区借助国外先进技术先后建成了沉管隧道。我国自行设计施工的第一条沉管隧道——广州珠江隧道已于1993年通车。此外,宁波甬江隧道也已建成。但总的来说,我国目前沉管隧道设计与施工技术还处于积累经验阶段,在施工技术与设备上仍有待进一步研究与开发。

## 二、当前海洋工程技术研究的热点

### 1. 潜水器技术——载人潜水器的开发。

如前所述,由于载人潜水器不仅在海洋资源勘探开发,而且在水下作业乃至军事方面都有着无人潜水器不可替代的作用,因此世界上许多发达的海洋国家均投入大量人力、物力和财力开发载人潜水器。我国无论从海洋开发角度出发,还是从赶超和接近世界先进水平出发,都有必要进行载人潜水器的研制。“十五”期间,我国将在“863”计划中开展大深度载人潜水器的研究。载人潜水器因其所处的作业环境和作业功能的特殊要求决定了它在材料、结构、动力、推进、控制、信息采集和传输、水声、生命支持系统等方面都包含诸多高新技术内容。其主要关键技术为:

(1)大容量高性能能源研究,包括闭式循环柴油机系统,热机动力系统,大容量高性能电池的研制等;

(2)轻型高强度材料的研究,包括石墨复合材料和陶瓷材料,钛合金以及高强度、低比重的浮力材料等;

(3)深水控制技术,包括高可靠性,高性能的操纵控制技术,高性能运动姿态测量和导引技术,智能控制技术等;

(4)特种装置技术,如特种推进系统,深海液压系统,水下作业技术,



深海应急自救生命支持系统等;

(5)水下成像和水下图像信息传输技术等。

#### 2. 海底管线检测与维修技术。

目前我国已有石油天然气管线超过 2000 公里,这些管线的检测和维修费用每年高达几百万甚至几千万美元,由于管线损坏造成的停产损失更无法估计。海底管线检测和维修的主要关键技术是:

(1)水下管线泄漏检测技术,重点是高灵敏度水听器 and 信噪分离技术及放大处理技术;

(2)水下检测管线系统运载技术——主要是特种遥控潜水器,要求该潜水器具有低噪声,强推进的动力系统,低磁性的结构形式和可以自动跟踪管线的操纵控制技术;

(3)水下维修装置的精确定位技术;

(4)水下管线的提升和清泥技术,需研究大功率液压提升装置,大深度水下喷射式清泥装置;

(5)水下工作舱技术,重点是解决水下工作舱的生命支持系统,管线接口密封技术;

(6)水下作业机械。解决水下切割和焊接问题。

#### 3. 大型浮式生产系统研究。

海上浮式生产系统不仅应用于海上边际油田的开发,而且也用于大型海上油田。其作业水深也逐步由浅水向深水发展,然而还有不少技术问题有待解决。

系统的动力特性与运动响应分析;

细长柔性构件(如系泊链、隔水管等)的涡激诱导振动及疲劳分析;

生产储油船的极限强度及疲劳问题;

高海况下快速解脱与快速回接问题;

深水情况下材料的使用,包括设计、检验和防腐等。

#### 4. 深海平台研究。

当前,海洋工程技术比较先进的国家,如美国、挪威及英国等都十

分重视深海平台的研究,探索综合利用深水张力腿平台技术、单圆柱平台(SPAR)技术以及桶形基础技术等开发出新的平台形式。据报道,作为概念研究,平台的作业水深已超过 1500 米(所谓极深水),有望达到 8000 英尺。深海平台的关键技术主要是:

(1)平台结构形式研究,使平台具有良好的运动性能,同时又有较低的造价;

(2)平台的非线性动力响应,尤其是长周期漫漂运动,以及高频响应中所产生的二阶和频力和高阶脉冲力;

(3)平台张力腿系统的研究,尤其是张力腿的极界承载能力,疲劳断裂可靠性以及维修问题;

(4)桶形基础研究,主要是基础土壤破坏机理研究(土壤在负压下的膨胀,渗流和失稳等),负压控制技术(基础在负压下沉时的速度和姿态控制),基础承载能力(上拔力,侧向力)的计算与实验研究。

#### 5. 超大型浮式结构物(超大型浮体)的研究。

超大型浮体的特征是平面尺度(与波长比)巨大,相对来说垂直尺度则甚小,所处的海洋环境又极其复杂,来波或来流的方向和大小在整个建筑物的范围内可能都不一样,同时超大型浮体是具有永久性或非永久性的海上建筑物。作为军事用途时,还要具有一定的抗暴、抗冲击的能力。因此给超大型浮体带来了特殊的技术问题,主要是:

(1)海洋环境非均匀性对超大型浮体流体动力特性的影响;

(2)超大型浮体的系泊定位系统的动力特性和可靠性研究;

(3)多模块超大型浮体的水弹性响应研究;

(4)超大型浮体各模块间柔性连接的方案设计,材料选择和连接结构的强度与可靠性分析;

(5)超大型浮体的模型试验理论与试验方法研究。

#### 6. 海上施工技术的研究。

海上施工技术涉及的面很广,但亦有其最基本的和具有共性的关键技术,主要是:

(1)超重大件在浮动状态下的精确沉放技术。例如,海底沉管隧道的大型管段重达 5 万吨,在浮动情况下精确沉放具有极高难度。

(2)水下地基基础处理技术。包括铺石、平整或打桩、灌浆。例如对沉管隧道,要求地基铺石后的平整度不大于 5 厘米。

(3)水下测量与控制技术。主要是利用超声波技术、高精度传感器技术和信息控制技术进行水下结构物的定位测量与控制。

21 世纪人类将全面步入海洋经济时代,海洋开发和利用需要先进的海洋工程技术和各种海洋工程结构物的支撑。大型海洋工程结构物一般都具有较大的宽度,如一般的半潜式平台的宽度就在 70 米左右,大型的全潜式重大件运输船的宽度要超过 60 米。世界上一流的船厂如日本三菱重工造船、韩国现代重工造船均利用大型干船坞建造海洋工程结构物。同时,国内外的海洋油气开发与利用对海洋工程结构物有着巨大的需求。我国在渤海等海域发现了大型油田,需要大型的浮式生产系统(FPSO)和各种平台。国际上继墨西哥和欧洲北海之后,在巴西和非洲西部海域均发现了丰富的油气资源。此外,海洋工程结构物高技术和高附加值的特点对造船企业来说既是挑战又具有很大的吸引力。为此,建议国内大型造船企业如上海外高桥造船有限公司在未来发展中应将大型海洋工程结构物(如大型浮式生产系统、大型海洋平台、特种海洋开发装备等)作为其纲领性产品之一,并关注海洋工程技术的发展,有计划、有步骤地与有关高校、院所合作开展有关的研究,形成一定的技术储备和海洋工程结构物建造能力,为造船工业的发展,为海洋资源的开发、利用和保卫蓝色国土作出新的贡献。Ω

作者: [李润培](#)  
作者单位: [上海交通大学船舶与海洋工程学院](#)  
刊名: [船舶经济贸易](#)  
英文刊名: [SHIP ECONOMY & TRADE](#)  
年, 卷(期): 2002 (4)  
被引用次数: 3次

## 引证文献(3条)

1. [张东波](#) [充气水下织物结构的大变形有限元法计算与分析](#)[学位论文]硕士 2006
2. [李良碧](#), [王仁华](#), [俞铭华](#), [王自力](#) [深海载人潜水器耐压球壳的非线性有限元分析](#)[期刊论文]-[中国造船](#) 2005 (4)
3. [俞铭华](#), [王自力](#), [李良碧](#), [王仁华](#) [大深度载人潜水器耐压壳结构研究进展](#)[期刊论文]-[华东船舶工业学院学报\(自然科学版\)](#) 2004 (4)

本文链接: [http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_cbjjmy200204003.aspx](http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_cbjjmy200204003.aspx)