

文章编号: 1000-4882(2006)S-0001-08

开发深海资源的海底空间站技术

曾恒一¹, 李清平¹, 吴应湘²

(1 中国海洋石油总公司, 北京 100010; 2 中国科学院力学研究所, 北京 100080)

摘要

对深海洋底的探测和外太空探测一样, 在科学上和技术上都具有很强的吸引力和挑战性。本文提出在深海海底建造空间站的设想, 介绍了深海空间站的构想方案, 探讨了设计中的技术难点和关键问题。

关键词: 深海空间站; 海洋资源; 海洋工程

1 引言

随着北海、墨西哥湾、巴西等一系列深水油气田的陆续建成投产, 人类探测深海资源、建造深水平台、铺设深水海底管线的技术正不断完善。到 2001 年, 深水油气钻探水深达到 2953m、投产的深水油气田的水深达到 1853m, 海底管线的最大铺设深度已经达到 2160m。本世纪初, 石油开发已把目光投向蕴藏在 3000m 的海底油藏, 矿产开发也把希望寄托在 4000m~6000m 海底的锰、铜、钴、镍。目前世界深水区域已探明石油储量达 70 亿吨油当量, 未发现的潜在资源量大约有 150 亿吨油当量, 其中大部分集中在大于 1500m 水深的海域, 深海锰结核储量大约为 3 万吨。探索深海奥秘、索取资源已成为 21 世纪人类最重要的使命之一。随着科学技术的不断发展以及人类对深海资源认知水平的不断提高, 人类开发深海的进程将不断加快, 与深海资源开发相关的工程技术已经和正在成为世界工业史上科技创新的热点之一。

中国南海是我国海域面积最大、平均水深最深的海区。该海区内石油地质储量约为 230 亿~300 亿吨, 占全国总资源量的三分之一, 属于世界四大海洋油气聚集中心之一, 目前我国对外招标进行该区域部分区块的油气勘探, 勘探区的水深范围为 1500m~3000m。1999 年 3 月 5 日, 联合国确认中国在北太平洋的克拉里昂-克林帕顿断裂带海域拥有了 7.5 万平方公里的专属矿区。在这块中国的“海洋自留地”里, 初步估算有 4.2 亿吨多金属结核, 按当前可预期的采收率, 可满足年产 300 万吨、开采 20 年的需求。天然气水合物是永久冻土区和深海提供给人类的又一重要战略资源。经多次在西沙海槽进行高分辨率多道地震调查证实, 在南海北部陆缘深水区发现了水合物存在的地质、地球物理和地球化学异常标志, 表明我国海域存在天然气水合物, 根据西沙海槽和东沙群岛附近海域的预测, 天然气水合物资源量为 83 亿吨油当量, 让我们看到了我国清洁天然气水合物能源的美好前景。

深海油气资源、矿产资源、天然气水合物资源的开采需要适合深海条件的特殊开采手段, 需要提供人类在这种条件下的生产和生活环境。为此, 我们认为需建造深海空间站, 以满足这些需要。特别是我国深海天然气水合物的开采和深海油气开采已经提到议事日程, 深海矿产资源的开采也正在积极筹备。所以深海空间站的建立不仅可以充分利用我国海洋资源, 改善人类生存环境, 弥补陆地油、气、矿等资源的严重不足, 而且相关技术的发展还可以服务于我国的海洋防护和海域安全。

本文主要针对天然气水合物的开发, 比较粗略地介绍了深海空间站的构想方案, 探讨了设计中的技术难点和关键问题。

2 深海空间站工程方案

建造深海空间站是为实现我国深海油气资源、矿场资源和天然气水合物和工业化开采创造良好的开发条件，提供可靠的技术支持和技术平台。为此，特提出深海空间站总的布局和工作流程方案（见图 1），其系统的整体效果见图 2。

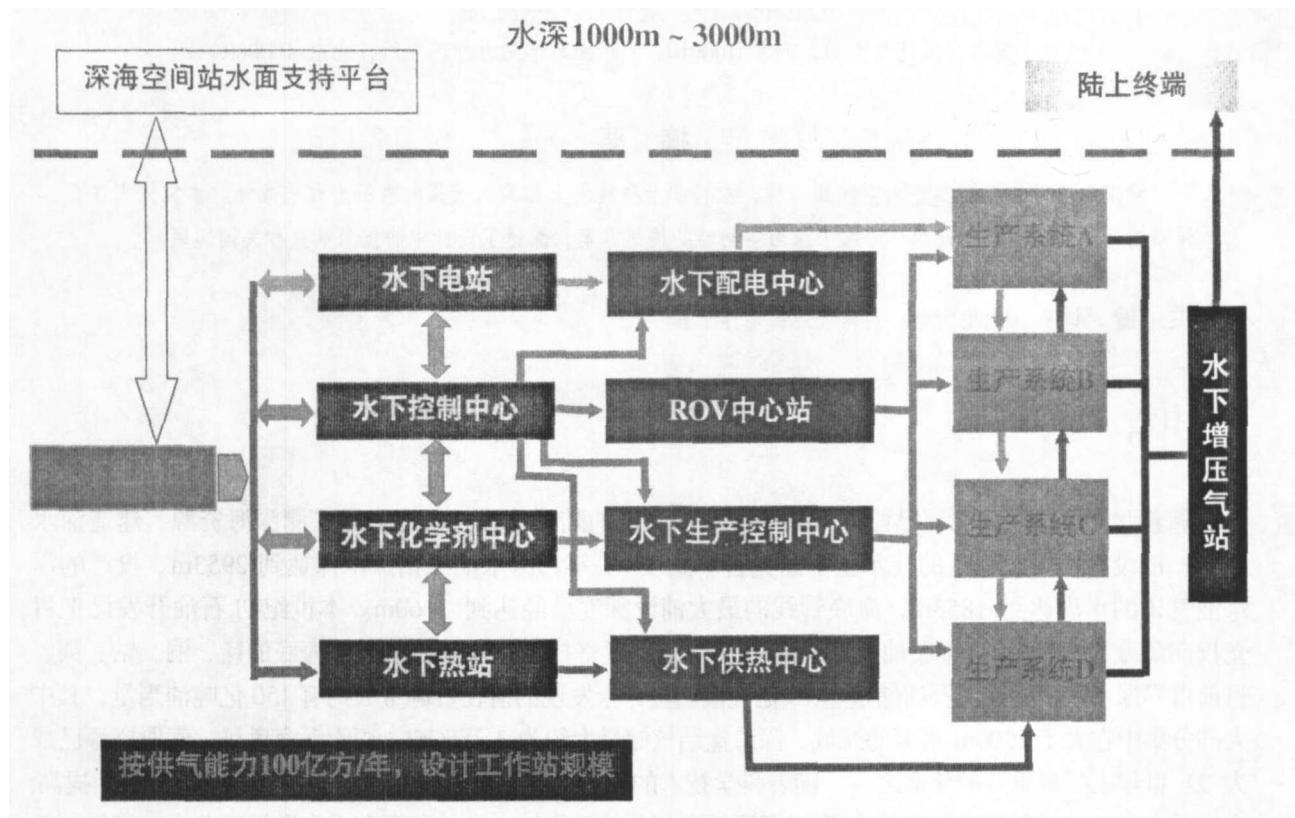


图 1 深海空间站工作流程及系统组成

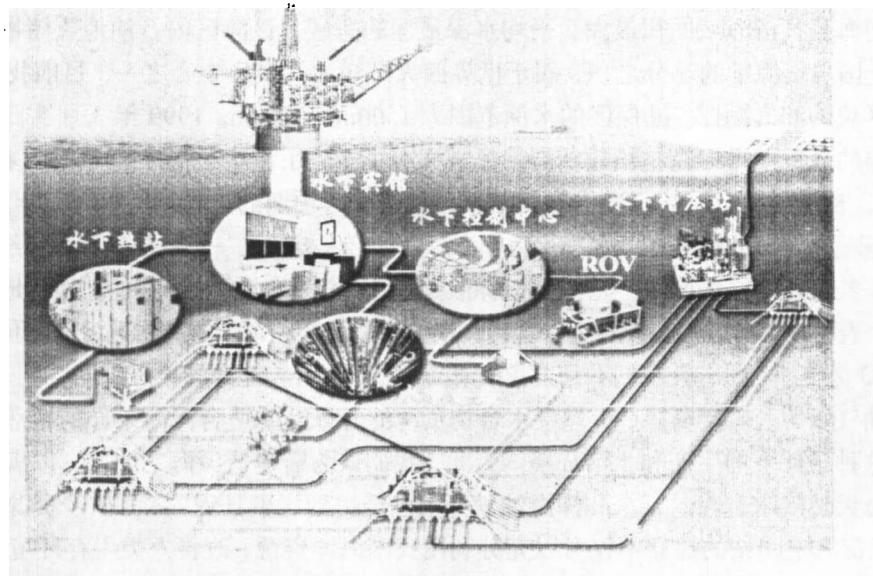


图 2 深海空间站组成效果图

(1) 为实现海底的人员驻留和生产流程，深海空间站的基本功能应包括：

- ① 提供开采天然气水合物、石油天然气或矿产所需要的动力源、热源及高压气源；
- ② 提供作业人员和科研人员的水下驻留空间；
- ③ 形成水下生产监控、维护中心；

- ④ 形成水下分析化验中心；
- ⑤ 提供水下供给支持、应急救护等的上部支撑设施。

所以，整个海底空间站包括水面系统和水下系统两部分。水上部分由水面支撑设施和陆上终端组成；水下系统根据在海底的工作模式分为干式工作区、湿式工作区和生产/输送区。

(2) 各区域的主要特点如下：

① 干式工作区是将整个工作区域内部与海水完全隔离，为承压壳体内部的干式工作区域，可以允许科研生产人员长期或一段时间内在其中工作和生活，主要的活动区域为水下宾馆生活区，各个区域之间可以通过一定的方式对接。

② 湿式工作区内部的所有部件和设备直接与海水接触，主要包括动力、热力、控制系统的水下次级分配模块，该区域为干式工作区域与生产模块之间的信号、能量传递枢纽。

③ 生产/输送区是将常规的水下生产系统与油气、水合物、矿产的相关开采与输送技术相结合，实现深海资源的安全开发与合理利用。

(3) 根据功能和服务范围的不同，深海空间站的组成部分可分为通用模块和专用模块两大类。各功能模块的主要特点和组成如下：

① 通用模块：包括深水平台、陆上终端、水下干式和湿式工作区、水下增压气站、管理与监控系统等。这些模块的主要特点是它们的公用性和服务性。它们的主要结构和功能不因工作对象的改变而发生大的变化。它们的主要作用是为所涉及的深水项目提供人员、动力、热力、监控方面的技术服务和支持，实现深水海底的人员驻留、动力供应、海洋探查、信息收集、系统控制、安全防护等需求。它们可用于科学考察、工业生产、安全防护等不同目的。

② 专用模块：主要包括水下各个井口生产设施、开发过程控制系统、以及相关的钻完井及修井设备等。这些模块需根据油气开发、水合物开发或矿产开发的不同特点而分别设计。如天然气水合物开发就需将天然气水合物的开采技术与水下生产技术相结合，根据降压（降低压力将天然气从水合物矿藏中释放出来）、加热（加入热量将天然气从水合物矿藏中释放出来）、注剂（注化学药剂将天然气从水合物矿藏中释放出来）等不同方法，设计出特定开采工艺，在整套海底空间站其他模块的配合支持下，实现天然气水合物的合理开发利用如水合物开发。矿产开发则根据矿石的种类和在海床的分布特点，设计出包括矿石收集、储存、传送的开采工艺系统和相应的收集/储存/传送过程的控制系统等。

图3详细介绍了深海空间站的工作区域划分以及水上部分功能。水下部分各模块的主要功能则在图4中给出。

3 深海空间站各组成部分的设计思路和关键技术

深海空间站承受的超高压环境，以及它与海床、海水、海流的相互作用和影响使得深海空间站的设计和建造在某种意义上比太空空间站的设计和建造更为复杂、更为困难，从而给科技界和工程界提出了许多极具挑战性的课题。这里我们就深海空间站各组成部分的设计思路、设计难点和关键技术做一简略介绍。

3.1 水面支撑系统

水面支撑系统可由深水平台或浮式结构组成，其主要功能是提供水面支持系统，并实现水上和水下的物质传输和信息传输。深水平台或浮式结构的基本设计思路是参考和借鉴各类深水平台设计建造技术。只是目前我国还没有掌握国外深水平台的设计建造等技术，需要尽快掌握；同时应该注意到用于深海空间站的深水平台与常规深水平台主要功能有所不同，前者必须满足深海空间站水面上下单元之间的人员、物质供给以及紧急求援和水下各个单元的动态监控，后者仅仅是生产支持系统。

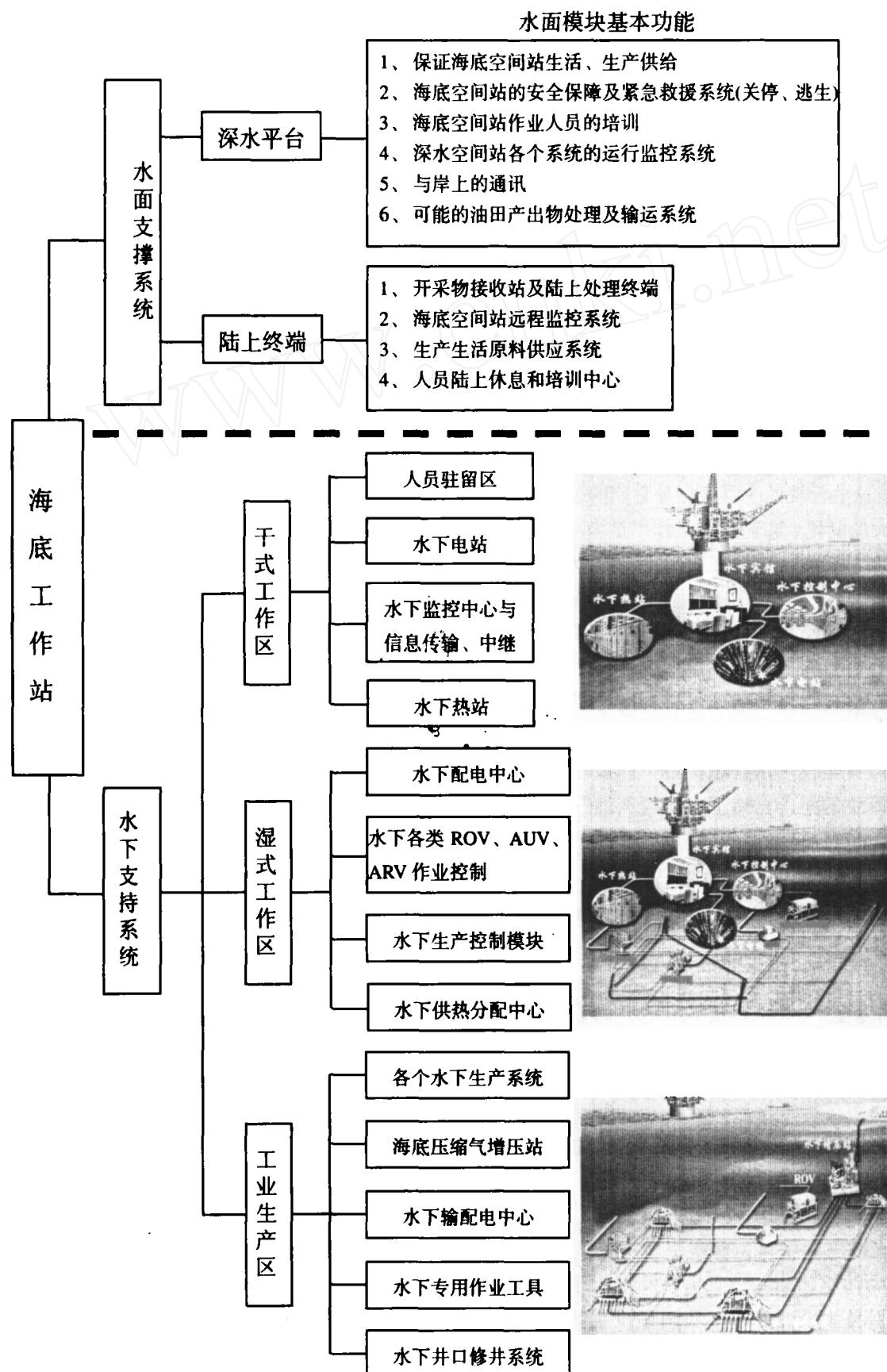


图 3 工作区域划分及水上部分功能

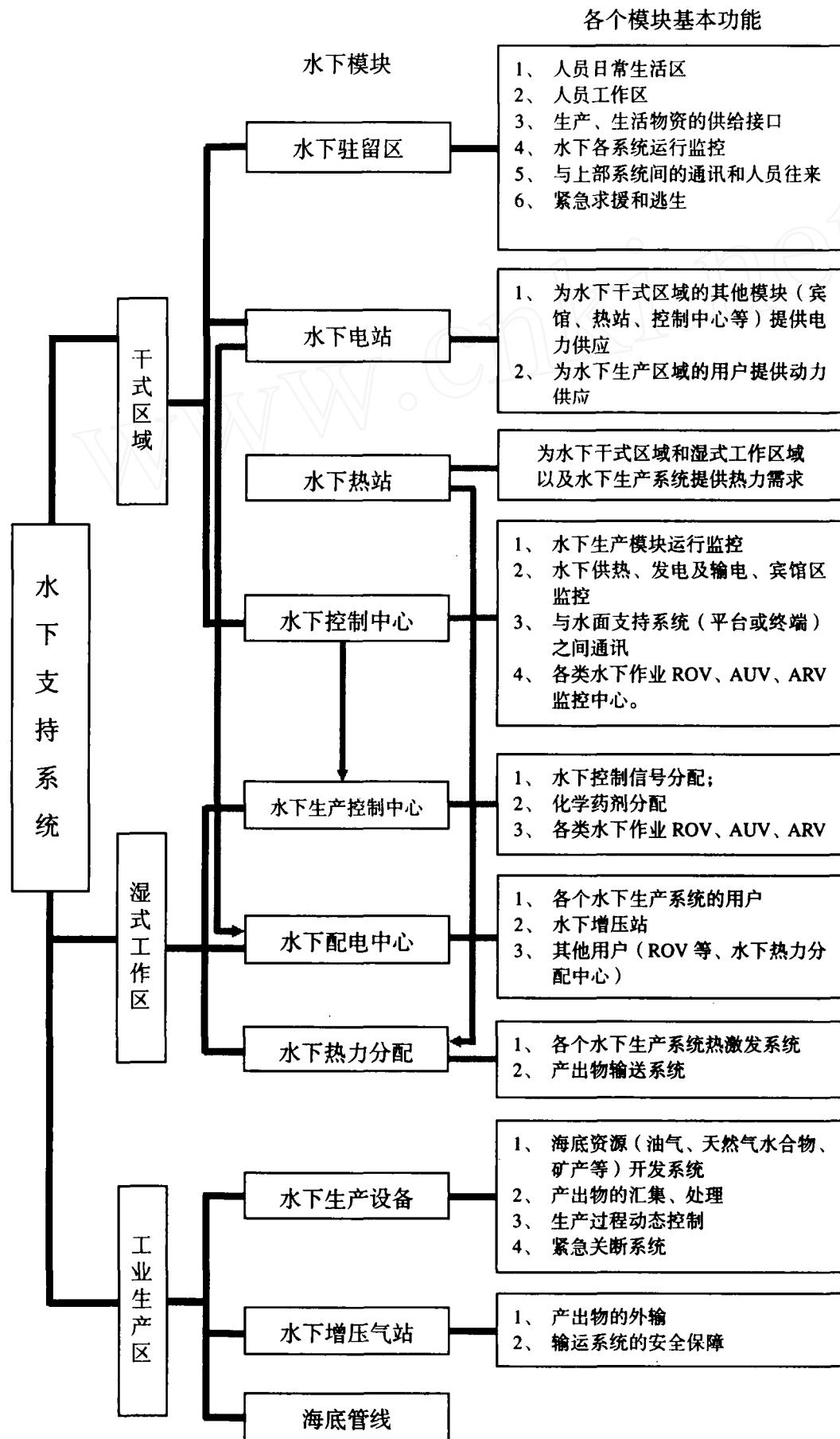


图 4 水下区域基本功能

深海空间站的深水平台设计需要的关键技术主要有：

- ① 与水下干式工作区域之间的连接模式
- ② 紧急求救、救援的方式和方法
- ③ 用于深海空间站的深水平台设计、建造和安装技术

3.2 水下驻留区

水下驻留区的主要功能是提高操作人员的驻留空间和生活空间。鉴于载人潜水器和核潜艇的相关技术已基本成熟，设计水下生活区时可借用这些技术。但深海空间站的水下生活区与载人潜水器在工作长期性和安装模式等方面有较大差异，需要采用不同的操作规范和安全准则。

设计时需要考虑的关键问题有：

- ① 水下宾馆区生存环境的维护
- ② 水下安全预警系统及紧急求援措施
- ③ 与上部支持系统、水下其他系统内人员和系统的对接
- ④ 系统的定位、迁移与安装等

3.3 水下电力供应模块

水下电力供应可采用水面供电 + 水下输配电和水下电站+水下输配电两种模式。水面供电需要提供大功率电源、电力输送系统和水上水下的电路传送系统，系统极为复杂、庞大，使用极不方便。水下自行供电的模式较为简捷。根据目前的技术发展，利用核电站或核潜艇供电技术比较可靠。当然，充分利用海洋资源的发电方式，如温差发电、水下波浪力发电等，也不失为可供选择的方式。由于深海空间站的能耗远大于核潜艇，需要研发小规模大功率核能发电技术。同时还需攻克水下湿式变压、变频器技术和高压湿式电接头技术。

水下电力供应需研究的关键技术包括：

- ① 水下核电站、水下波浪力站技术；
- ② 水下核电站的安全；
- ③ 海洋能源的综合利用；
- ④ 水下高压湿式输配电技术；
- ⑤ 水下变压器、变频器研制；
- ⑥ 海底高压电力传输中的高压磁饱和、谐波；
- ⑦ 水下高压湿式电接头；
- ⑧ 特殊用途的复合电缆。

3.4 水下生产设施

水下生产设施的任务是实现水下的工业生产。以天然气水合物为例，其开采可借鉴常规的深海天然气田的水下生产设备的种类和功能，但设计时需考虑到被开采物的矿藏特性、开采特性、储存特性、输送特性等，实现开发过程的合理、高效、可靠、可控。

与水下生产设施相关的需研究的技术包括：

- ① 将天然气水合物的开采技术和水下设备高度集成的水下生产装置的设计、制造技术；
- ② 天然气水合物藏上方水下设施的安装及固定技术；
- ③ 水下增压气站及油气处理技术；
- ④ 水下生产设备及集输系统中水合物的生成控制技术；
- ⑤ 水合物的输送、储存新技术等。

3.5 水下控制模块

水下控制模块的功能有三方面：一是对日常工作进行维护和监控，主要服务于水下干式工作区，以及水下与水面之间的通讯联系；二是对遥控作业工具进行操作和控制，用于各种 ROV、AUV、ARV 的操作控制和日常维护、电力补充等；三是对水下生产区块的控制，主要实现阀门开启、生产信号传递等。

实现水下控制所需的关键技术包括：

- ① 各种 ROV、AUV、ARV 的水下作业技术；
- ② 各种 ROV、AUV、ARV 的综合管理技术；
- ③ 各种水下生产系统的安装、维修过程管理技术；
- ④ 以及与开采方式和过程控制相结合的水下控制技术等。

3.6 水下热站及热力配置系统

水下热站及热力配置系统的功能是为生产提供热能。天然气水合物开采和稠油开采都需要外加热能。根据开采对象和生产环境的不同，可分别采用电热、水热、气热等不同方式。

与水下热站及热力配置系统相关的需研究的技术有：

- ① 深海加热的供应技术（回收、海水淡化、电热）；
- ② 热输送过程中的保温技术。

3.7 深海空间站系统集成技术

深海空间站是一个复杂而庞大的结构体系，它的设计和建造需要考虑的因素很多，涉及到结构、材料、建筑、机械、电子、遥控、遥测等诸多高新技术，以及这些技术的融合与集成，最后成为人类能在深海环境下工作、生活的载体。实现该体系的建造需重点研制的关键技术包括：

- ① ①深海空间站系统的设计、建造、安装技术；
- ② 深海空间站各个组块的系统集成技术；
- ③ 深海空间站远距离遥测遥控技术；
- ④ 深海空间站应急关断技术等。

4 结束语

21世纪是人类全面开发利用海洋的新世纪。开发海洋、保护海洋的伟大事业正在受到世界各国，尤其沿海国家的广泛关注和高度重视。积极发展海洋高新技术，提高国际竞争能力，抢占和开发海洋空间及资源，从海洋中获得更大的利益已成为各国21世纪的国家发展战略。《联合国海洋法公约》生效后，沿海国的国土构成发生了巨大变化。各沿海国正据此纷纷调整国土资源开发政策，积极发展海洋高新探查技术，以求在海洋中获得更大的利益。我国在维护海洋权益方面所面临的形势严峻复杂，与众多的相邻国家有海域划界问题。现代国际间的竞争，说到底是资源的竞争，是综合国力的竞争。建造海洋空间站的技术平台，是实现海洋探索、开发、利用、防护的基础和保障。

深海洋底也是人类至今难以涉足的神秘领域，这一资源丰富、有待开发的新空间，将成为人类未来的重要能源基地，对深海洋底的探测和太空探测一样，具有很强的吸引力和挑战性。

因此，深海空间站的建立不仅可以充分利用我国海洋资源，改善人类生存环境，弥补陆地油、气、矿等资源严重不足，而且相关技术的发展也可以服务于我国的海洋军事。

毫无疑问，建立深海空间站将成为人类发展史上的又一壮举。

The Technology of Sub-sea Workstation for Exploiting Deep Water Resources

Zeng Hengyi¹, Li Qingping¹, Wu Yingxiang²

1 China National Offshore Oil Corporation, Beijing, 100010

2 Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract

The seabed in deep water is a mysterious field for human being hard to set foot in. It is this field that is rich in natural resources to be exploited, which will become the important base of natural resources for mankind. The survey and exploitation of deep seabed, just as being that of outside space, possess strong attraction and challenge in science and technology. This paper presents a tentative idea to set up a workstation on sub-sea to dig out deep sea resources, and at same time to probe the last part of the earth not being exploited. The general concept of the main frame of sub-sea workstation is introduced, and the difficult points in technology and the key problems in design are also discussed in the paper.

Key words: Deep sea workstation, offshore engineering, natural resources in deep waters

作者简介

曾恒一 男, 1938 年生, 中国海洋石油总公司副总工程师, 中国工程院院士。