

综述

# 中国深水海域油气及相关资源勘探开发进展及关键技术\*

孙清<sup>1</sup>, 连琰<sup>2</sup>

(1. 中国21世纪议程管理中心, 北京100089; 2. 上海交通大学, 上海200030)

**摘要:** 深水油气及相关资源的开发是我国解决能源紧缺问题的关键,我国南海深水海域蕴藏着丰富的油气资源,天然气水合物资源赋存也有着良好的前景。本文探讨了深水油气及相关资源勘探开发技术的进展和技术发展方向。

**关键词:** 深水油气; 天然气水合物; 关键技术

中图分类号: P618.13; P619.109

文献标识码: A

文章编号: 1672-5174(2005)06-1049-04

我国管辖海域油气资源产量已经超过  $4 \times 10^7$  t 油当量,海洋油气资源开发已经成为我国油气资源供给的重要组成部分。然而,随着近海油气不断开发,其后续发展能力明显不足。如何从深海获取更多的油气资源是我国必须面对的历史使命。

目前世界深水区域已探明可采储量达 60 亿吨油当量,潜在可采资源量约 137 亿吨油当量。我国南海是世界四大油气聚集地之一,石油地质储量约为  $(23 \sim 30) \times 10^{10}$  t, 占我国油气总资源量的 1/3, 其中 70% 蕴藏于  $1.537 \times 10^6$  km<sup>2</sup> 的深水区。天然气水合物是迄今所知的最具价值的海底矿产资源,陆缘深水地区是天然气水合物勘探重要领域,已成为当代科学界的 1 个前沿研究热点。开发和利用海域天然气水合物资源,将有望从根本上解决我国的石油资源紧缺问题,从海洋中获得更大利益已成为世界各国 21 世纪的国家发展战略,也是保证我国经济长期持续发展,弥补陆地油气资源不足的重要途径。

我国深水海域油气资源仍处在勘探开发的初期。目前我国海洋工程实践经验仅在 200m 水深之内,深水钻井的最大深度仅 505m<sup>[1]</sup>,与国外深水海洋工程技术的飞速发展形成巨大反差,已经成为制约我国深水能源开发的瓶颈。天然气水合物勘探开发技术更是我国海洋技术的空白。近 5 年来,在“十五”国家高技术研究发展计划 863 海洋探查和资源开发技术系列成果基础上,重点研究开发我国海域天然气水合物勘查及开发的关键技术,为天然气水合物成藏远景区圈定及商业开发提供高技术支撑,形成自主的海域天然气水合物创新技术体系,带动与促进海洋产业的发展,所有这些都有着重要的政治、经济、科学意义。

## 1 深水海域油气资源勘探开发技术发展趋势

### 1.1 深水油气的勘探和开发技术

自 1985 年以来,随着第一批水深在 300m 以上的项目的投入开发,国际深水油气勘探开发发展成为海洋油气的主力市场。最初 10 年,每年平均增长速度为 65%。西北欧、巴西、墨西哥湾的勘探开发走在前列,2001 年起墨西哥湾深水区的产量已超过浅水区。据 2000 年统计,水深 500m(此深度是公认的浅水油气田与深水油气田分界线)的深水油气田有 162 个,遍及世界各海域,其中尤以美洲的墨西哥湾、拉丁美洲的巴西海域及西非的海域最多,深水油气田探明了油气储量为 16 241 百万桶油当量(约  $22.6 \times 10^8$  t 油当量),探明储量已占海上油气田探明总储量额的 12%,可见深水油气田已成为海上油气勘探的重要目标。其勘探(钻探)水深已达 2 900m 以上,开发作业可达 2 301m。预测 2007 年全球深水油、气产量将达到  $37.4 \times 10^8$  t 和  $6 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>,深水正在成为世界石油工业的主要增长点,也是世界科技创新的热点。高精度三维地震勘探、大容量长排列地震勘探、重磁震等多手段、多目标联合勘探成为深水油气勘探的发展趋势。浮式生产储油装置(FPSO)、张力腿平台(TLP)、深水多功能半潜式平台(Semi-FPS)、单柱式平台(SPAR)等深水平台和各种类型的水下生产设施目前已成功研制,建成深水平台 159 座,在运行的水下生产装置有 2 300 多套,用于水下作业的机器人(ROV)作业水深已经超过 3 000m,已投产油气田的最大水深 2 192m,最大钻探水深为 3 050m。

### 1.2 天然气水合物的勘探技术

上个世纪 90 年代以来<sup>[2]</sup>,天然气水合物以其巨大

\* 基金项目: 国家高技术研究发展计划项目(2003AA615010)资助

收稿日期: 2005-06-18; 修订日期: 2005-08-26

作者简介: 孙清(1966-),女,副研究员。E-mail: sunqing@acca21.org.cn

的资源量和潜在可开发性有可能成为本世纪继石油、天然气和煤炭后的战略性接替化石能源,已引起世界各国的高度重视。世界上许多国家纷纷投入巨大的资金开展天然气水合物的研究和调查勘探工作,美国、日本、俄罗斯、德国、墨西哥、印度、韩国等国家都制定了各自的天然气水合物研究计划,日本、印度还实施了天然气水合物的地质调查工作,制定了在本世纪上半叶实现天然气水合物大规模商业化的计划。国际大洋钻探计划在天然气水合物的发现、钻探取样和研究方面做出了重大的贡献,综合大洋钻探计划更是把天然气水合物作为其8大重点方向给予支持。

尽管对天然气水合物已开展了一些研究工作,但目前对天然气水合物的许多物理性质仍不明确;将天然气水合物作为天然气资源的评价模式尚未建立;有许多天然气水合物勘探与开发中的技术难题尚待克服。目前天然气水合物的研究热点是水合物地震识别技术、地球化学探测技术、资源评估技术和保真取样技术等各项探测技术。主要发展方向为:资源范围和资源量有效评价技术;天然气水合物勘探技术;天然气水合物保真取样技术;天然气水合物开发及其对环境的影响与对策研究;量化研究水合物在全球碳循环中的作用。

## 2 我国的技术现状和进展情况

### 2.1 深水油气的勘探和开发技术

世界油气总储量的44%来自深水海域。在海洋深水工程的设计与建造方面,我国的技术能力还十分薄弱。这与最近几年国际深海平台创新概念层出不穷,技术发展飞速的局面形成巨大反差,成为与国外海洋工程技术水平主要差距之一。我国油气资源开发目前仍主要集中在200m水深以下的近海海域,而国际上深水勘探(钻探)水深已达2900m以上,相比之下,我国深水海域油气资源仍处在勘探开发的初期。上个世纪,国内在南海北部陆坡、南海南部深水区和东海冲绳海槽区开展了油气综合勘查和珠二坳陷、白云坳陷、南沙重点盆地区段的普查及综合研究,在珠江口盆地332m和503m处钻井2口。为保持海洋油气资源的持续开发能力,我国海洋石油勘探开发部门正准备向深水低体体系域新类型、新层系、新领域勘探转移,力争在南海北部深水实现突破,作为珠江口盆地勘探开发接替区。海域深水前新生界是今后油气及水合物勘探的新领域。但是,南海深海油气资源涉及地缘政治,除需要解决包括勘探、钻井完井、工程建设、油气处理、生产和运输等方面的技术难题,还需要国家的政策保护和海军力量的支持。勘探方面,急需发展深穿透高分辨地震勘探技术、深水复杂构造与中深层地震勘探技

术、海洋重、磁、电、震综合反演技术;开发方面则有包括柔性立管技术的浮式生产系统技术、深水新型平台技术、深水钻井技术等。

十五期间,国家高技术研究发展计划项目深水油气地球物理勘探技术研究,首次成功开展长排列大容量震源地震采集、海底地震仪及其它物探方法的联合海试,发现巨厚中生代地层,沉积地层厚度超过万米。研制出5套高频数字海底地震仪(OBS),在南海北部进行了长排列大容量震源地震采集、海底地震仪及其它物探方法的联合海试,获得成功。我国首次成功开展的这种联合同步作业,在南海深水区获得了清晰的海底中、深部地质资料以及地球深部反射信号。首次发现巨厚中生代地层,沉积地层厚度超过万米,为进一步开展深水领域油气资源调查指明了勘探方向。

### 2.2 天然气水合物的勘探技术

我国在天然气水合物勘测和研究刚刚起步,2002年国家设立了“我国海域天然气水合物资源调查与评价”国家专项(简称“118”专项),通过近几年调查,在南海北部陆坡的西沙海槽、神狐和东沙群岛区发现了可证实天然气水合物存在的地质、地球物理和地球化学等一系列异常标志,初步证实我国海域存在天然气水合物,其资源前景良好。根据初步研究,科学家认为中国边缘海可能有可观的天然气水合物资源潜力。由于开展天然气水合物勘查开发技术的系统性研究刚刚起步,尚未建立高新的地球物理、地球化学探测技术体系,对天然气水合物存在的识别标志及其在中国海的分布与蕴藏量缺乏深入探索,与国外相比远远落后。

“十五”期间国家863计划资助天然气水合物研究,围绕开发一套水合物探测技术的目的,开展了“水合物地震识别、地球化学探测、资源综合评价和保真取芯钻具研制”等4个方面研究<sup>[3]</sup>。在水合物地震识别技术的研究中,重点开展了“天然气水合物地震采集试验技术、天然气水合物地震多参数正反演方法技术、保真处理与识别技术、以及天然气水合物资源量评估参数提取技术”等研究;在水合物地球化学探测技术的研究中,重点开展了“底水地球化学探测系统和船载地球化学快速探测系统、高精度高灵敏度地球化学测试技术、天然气水合物地球化学判别标志及地球化学异常评价方法”等研究;在水合物资源综合评价技术的研究中,重点开展了“沉积物中天然气水合物生成模拟实验、成藏动力学模拟、稳定带热动力学模拟,以及基于实测资料的资源量计算和资源远景评价技术”等研究;在水合物保真取芯钻具研制技术的研究中,重点开展了“保压保温取芯钻探器具及相应辅助器具,以及取芯钻探施工工艺和技术方案设计”等研究。上述这些研究是十分必要的,且非常及时,研制获得的这些技术通

过试验,取得最佳参数及方案后,部分已应用于正在执行的《我国海域天然气水合物资源调查与评价》国家专项,在南海北部陆坡西沙海槽、东沙和神狐工区开展了以地震、地质、地球化学等为主的多手段综合调查,首次在我国海域发现了天然气水合物存在的多信息异常标志,进行资源评价。取得了较好的勘探成果和较大的经济效益,为我国水合物勘探奠定了一定的技术基础。

### 3 未来5年的发展重点和关键技术方向

#### 3.1 深水油气资源勘探开发技术(水深300~1500m)

通过深水复杂构造与中深层地球物理勘探技术、海洋重磁电震综合反演技术、海域海相前新生界盆地油气资源勘探等关键技术的开发,初步形成深水油气资源勘探技术,在深水油气开发方面,重点突破深水钻井和深海采油关键技术;在深水工程技术方面,重点开发深水工程地质调查技术、深水平台设计制造技术、浮式生产系统技术、深海海底管线设计和敷设技术以及水下施工作业技术;初步形成适应中国南海特点的深水油气自主开发模式,填补我国深水油气开发的空白。其关键关键技术为:

3.1.1 深水油气(资源)地球物理勘探技术 包括深水复杂构造与中深层地震勘探技术、海洋重磁电震综合反演技术、海域海相前新生界盆地油气资源勘探技术。

3.1.2 深水油气钻井关键技术 包括海上大型自升式钻井船关键技术、3000m水深半潜式钻井平台关键技术、3000m水深浮式钻井船关键技术、钻井液及完井液技术。

3.1.3 深水油气开发关键技术 包括深海采油技术、深水平台技术、浮式生产系统技术、深海油气田总体开发技术、深海海底管道、电缆设计技术、水下施工作业技术。

3.1.4 深水环境地质条件综合研究 包括深水工程调查技术、深水工程勘察技术与仪器设备、深水测井技

术。

#### 3.2 天然气水合物资源探测与开发技术

在“十五”国家天然气水合物调查专项和本主题天然气水合物勘探技术研究的基础上,以突破我国天然气水合物调查与勘探面临的理论与技术瓶颈为目标,进一步开展天然气水合物勘探技术的研究,重点突破天然气水合物钻井与测井技术,为在“十一五”期间探明我国水合物赋存状况并取得水合物样品提供高技术支撑。其中关键技术在于:

3.2.1 海洋天然气水合物成藏机理研究 包括热成因、生物成因研究、孔芯介质中天然气水合物的储层分布及特点研究。

3.2.2 海洋天然气水合物勘探技术 包括测井技术、钻杆取芯技术的研究与应用、生物及细菌成因分析及勘探方法研究、保压取芯技术研究、室内多信息综合分析技术研究。

3.2.3 天然气水合物开采技术研究 包括多种方法的综合开发技术研究(热采、化学剂、降压)、新方法新工艺的研究(CO<sub>2</sub>替代开发技术研究)。

3.2.4 与水合物开采相配套的水下生产系统及技术研究 包括热采及化学药剂的注入设备及工艺优化设计技术、水下生产系统中水合物开采过程动态控制技术、采出水合物的储存及运输技术研究。

3.2.5 深水浅层井钻完井技术研究 包括深海浅层低温固井技术、深海浅层定向钻井技术、水合物地层的完井开发技术、海底钻机系统技术。

#### 参考文献:

- [1] 曾恒一. 我国海洋石油高速高效发展与面临的挑战[A]. 海南省科技活动月院士报告会[C]. 海南:海南省科技出版社,2005.
- [2] Kvenvolden K A, Lorensen T D. The global occurrence of natural gas hydrate[A]. Natural Gas Hydrate: Occurrence, Distribution and Detection[M]. Washington D C: American Geophysical Union, 2001. 3-18.
- [3] 杨木壮, 吴能友, 吴时国, 等. 南海北部特殊地质环境与BSR分布[A]. 李乃胜. 中国边缘海盆地演化与资源效应[M]. 北京: 海洋出版社, 2004. 176-181.

## Key Technologies with Development of Exploration and Exploitation of the Deep-Water Oil and Gas and Gas Hydrates in South China Sea

SUN Qing<sup>1</sup>, LIAN Lian<sup>2</sup>

(1. The Administrative Center for China's Agenda 21, Beijing 100089, China; 2. Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** The exploitation of offshore petroleum, natural gas and gas hydrates in deep waters is a key approach to solving the energy shortage in China, as the South China Sea is rich in oil and gas resources, and has good prospects for gas hydrates. The paper presents a review of the advances in the technologies of exploitation and exploration of deep water oil and gas and related resources and the development directions of these technologies.

**Key words:** deepwater oil and gas; gas hydrates; key technologies

(上接 1020 页)

## Cloning and Analysis of Trypsin Gene from Chinese Prawn (*Penaeus chinensis*)

ZHANG Jian-Ye<sup>1,2</sup>, JIANG Guo-Liang<sup>1</sup>, WANG Ning<sup>1</sup>

(1. College of Marine Life Science, Ocean University of China, Qingdao 266003, China; 2. Institute of Oceanology, China Academy of Sciences, Qingdao 266071, China)

**Abstract:** Trypsin is an important enzyme in the digestive gland of animals. In this paper, we report the cloning and characterization of a gene fragments encoding trypsin of Chinese Prawn (*Fenneropenaeus chinensis*). According to the conserved domain of some trypsin genes reported in the GenBank, a pair of degeneration primers were designed and synthesized. Polymerase chain reaction (PCR) was performed using genomic DNA of Chinese Prawn as template. A trypsin gene clones was obtained after a series of manipulation: purification of PCR production, ligation and transformation of recombinant plasmids, blue-white selection etc. DNA sequence analysis showed that the sequence was composed of one intron and two incomplete exons. The sequence had 79.2% identity with trypsinogen III of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) and that the amino acid sequence deduced from the sequence had 92.3% identity with the one of Pacific White Shrimp. Therefore, the genomic DNA fragments can prove to be the incomplete trypsinogen of *Fenneropenaeus chinensis* (*try Fc*). The phylogenetic tree showed that *try Fc* belongs to the third family of trypsinogen.

**Key words:** crustacea; trypsin; gene cloning; phylogenetic