

天然气水合物资源勘探与试采技术研究现状 与发展战略

付强, 周守为, 李清平

(中国海洋石油总公司, 北京 100027)

摘要: 天然气水合物是甲烷等烃类气体与水在高压低温条件下形成的笼形化合物, 俗称可燃冰, 将有望成为继页岩气、致密气、煤层气、油砂等之后的储量最为巨大的接替能源, 主要分布在北极冻土带和沿海大陆架 300~3000 m 水深的深水区, 初步估计其资源量为全球含碳化合物的两倍, 其中约 95 % 储存在深海区域; 与此同时, 深水浅层弱胶结水合物的无序分解等潜在工程地质灾害、温室效应等也已引起世界各国的高度重视, 因此, 天然气水合物资源安全高效开发和环境风险并重, 成为当前世界科技创新的前沿。本文回顾了国内外天然气水合物资源勘探和试采技术研究进展, 在此基础上, 针对我国海域潜在目标区以及我国已经获取的天然气水合物样品的相关特性, 提出了我国天然气水合物资源勘探开发技术方向。

关键词: 天然气水合物; 勘探与试采; 储量巨大; 研究现状; 发展战略

中图分类号: TE1 文献标识码: A

Natural Gas Hydrate Exploration and Production Technology Research Status and Development Strategy

Fu Qiang, Zhou Shouwei, Li Qingping

(China National Offshore Oil Corp, Beijing 100027, China)

Abstract: Gas hydrate, also called “fire ice”, is cage compound generated by hydrocarbon gas such as methane mixed with water in low temperatures and high pressures, which is expected to be the most important alternative energy after shale gas, tight gas, coal bed methane and oil sands. Gas hydrate in the seabed distributes widely in the depth of 300–3 000 m deep water in the arctic tundra or coastal shelf, of which about 95 % is stored in the deep sea region. It has been preliminarily estimated that the amount of gas hydrate is twice larger than that of the global carbon-containing compounds. Great attention has been attracted on disorder decomposition of weakly consolidated gas hydrate in shallow-layer in deep water, which can cause potential engineering geological hazard and the greenhouse effect. Safe and efficient development and environmental risks are equally important for developing the gas hydrate, so the research field has been the forefront of technological innovation around the world. This paper reviews the research progress of natural gas hydrate exploration and trial mining technology. On this basis, some ideas of natural gas hydrate exploration and development technology are described in terms of the potential target sea area in China and the relevant characteristics of gas hydrate samples already acquired.

Key words: natural gas hydrate; exploration and production; huge reserves; research status; development strategy

收稿日期: 2015-11-06; 修回日期: 2015-11-12

作者简介: 付强, 中国海洋石油总公司, 工程师, 主要从事天然气水合物和深海油气开发方面的研究工作; E-mail: fuqiang8@cnooc.com.cn

基金项目: 中国工程科技中长期发展战略研究项目“深海天然气水合物绿色钻采战略及技术方向研究”(2013-ZCQ-12)

本刊网址: www.enginsci.cn

一、前言

天然气水合物又称“可燃冰”，是由水和天然气在高压低温环境下形成的冰态、结晶状、超分子、笼形化合物，主要分布在水深大于 300 m 的海洋及陆地永久冻土带，其中海洋天然气水合物资源是全球性的。天然气水合物的显著特点是分布广、储量大、高密度、高热值， 1 m^3 天然气水合物可以释放出 164 m^3 甲烷气和 0.8 m^3 水。据估计，全球天然气水合物的资源总量换算成甲烷气体约为 $1.8 \times 10^{16} \sim 2.1 \times 10^{16}\text{ m}^3$ ^①，其有机碳储量相当于全球已探明矿物燃料（煤炭、石油和天然气等）的两倍。因此，天然气水合物将有望成为继页岩气、致密气、煤层气、油砂等之后的储量最为巨大的接替能源。

天然气水合物巨大的资源潜力以及对环境的潜在影响等吸引着世界各国勘查、实验开采以及配套环境影响评价工作的不断深入，美国、加拿大、德国、挪威以及我国周边的日本、印度、韩国等国家都制订了天然气水合物长期研究计划。目前，“一陆三海”的格局初步形成，一陆以北极冻土带的加拿大麦肯泽三角洲 (MALLIK)、美国阿拉斯加为主，三海包括墨西哥湾、印度沿海、中国南海和日本海。加拿大冻土带麦肯泽三角洲计划、英国石油公司 (BP) 牵头的阿拉斯加加热冰计划、雪佛龙牵头的墨西哥湾深水试开采三个实验性开采工业联合项目吸引了诸多国家、研究机构的参与，并已经取得初步成果。

我国在南海北部陆坡东沙、神狐、西沙、琼东南 4 个海区开展了水合物资源调查，2007 年、2013 年成功获取海域水合物岩心，初步证实我国海域具有广阔的天然气水合物资源前景。据国土资源部研究者估算，仅南海天然气水合物的总资源量就达到 $6.435 \times 10^{10} \sim 7.722 \times 10^{10}\text{ toe}$ ，约相当于我国陆上和近海石油天然气总资源量的 1/2。

如何安全合理地利用好大自然给予人类的巨大资源——海洋天然气水合物资源，克服其所带来的负面影响，需要我们全方位、多层次、多学科地开展水合物相关的科学研究和工程开发技术研究，从而有望在不久的将来使这一能源真正造福于人类。

总体而言，我国天然气水合物资源勘察评价和试采技术与国外先进技术有很大差距。从国家层次和战略高度对天然气水合物研究与开发做出重大抉

择，开展相关战略研究，尽快制订国家的研究和发展计划，具有深远的意义。

二、国外天然气水合物资源勘探与试采技术研究进展

(一) 天然气水合物研究历史

人们从开始认识天然气水合物到确认它是天赐人类的巨大资源，经历了漫长而艰辛的历程，其研究历史最早可追溯到 1810 年 Davy 偶然发现氯气水合物，但水合物的晶体结构直到 20 世纪 50 年代才得到确定，近 200 年的研究历程大致可分为以下 3 个阶段。

第一个阶段（1810—1934 年）为纯粹的实验室研究。这一阶段科学家在实验室确定哪些气体可以和水一起形成水合物以及水合物的组成，最具代表性的是 1810 年英国皇家学会学者 Humphry Davy 在实验室首次人工合成了氯气水合物，随后其他气体水合物相继合成，并引起了各国化学家对其化学组分和物质结构的激烈争论。但历经百年，人们对气体水合物在自然界的存在仍知之甚少。

第二阶段为天然气水合物研究快速发展阶段（1934—1993 年），这一阶段的研究重点是工业情况下水合物的预测和消除技术。20 世纪 30 年代，人们发现输气管道内形成白色冰状固体堆积物，石油工业者便把主要的精力放在如何消除天然气水合物堵塞管道方面，在这一阶段，水合物研究获得了快速的发展：两种主要气体水合物的晶体结构得到确定、基于统计热力学的水合物热力学模型诞生、热力学抑制剂在油气生产和运输中得到广泛应用、在陆地永久冻土带和海底陆续发现了大量的天然气水合物资源，1968 年苏联在开发麦索雅哈气田时，首次在地层中发现了天然气水合物矿藏，并采用注入化学剂等方法成功地开发了世界上第一个天然气水合物矿藏，掀起了 20 世纪 70 年代以来空前的水合物研究热潮。

第三阶段（1993 年至今）以第一届国际水合物会议为标志，为天然气水合物研究全面发展和研究格局基本形成阶段。天然气水合物作为人类未来的潜在能源在世界范围内受到高度重视，同时油气生产管道水合物抑制技术开发、天然气水合物资源勘

^① 来自《海洋石油工程深水油气田开发技术》中的第六章水合物。

探与开发、温室气体的水合物法捕集和封存等作为天然气水合物的基本研究格局基本确定。

(二) 天然气水合物资源估测

1972 年, ARCO-Exxon 公司在阿拉斯加获取天然气水合物岩心样品, 1975 年, 加拿大获取冻土天然气水合物样品。20 世纪 70 年代初, 以美国为首、多国参与的深海钻探计划 (DSDP) 将天然气水合物普查和探测纳入计划, 之后大洋钻探计划 (ODP) 于 1985 年正式实施。20 世纪 90 年代中期, 以深海钻探计划和大洋钻探计划 两大计划为标志, 美国、俄罗斯、荷兰、德国、加拿大、日本等诸多国家探测天然气水合物的目标和范围已覆盖了世界上几乎所有大洋陆缘的重要潜在远景地区以及高纬度极地永久冻土地带, 1995 年, 美国 ODP164 航次在布莱克海台钻探获得了海域天然气水合物样品。同时, 在西伯利亚、马更些三角洲、北斯洛普、墨西哥湾、日本海、印度湾、中国南海北部陆坡等地相继发现了天然气水合物, 截至 2012 年, 全世界已发现天然气水合物存在标志 132 处, 获取水合物岩心 32 处, 其中海洋 24 处, “一陆三海” 格局初步形成。自然界天然气水合物样品的赋存储层有砂岩型、砂岩裂隙型、细粒裂隙型水合物、分散型水合物。

由于目前天然气水合物的资源勘探工作还有待

深入, 所采用的标准不同, 所以各个研究机构对全世界天然气水合物储量的估计值差别很大。据潜在气体联合会 (PGC) 估计永久冻土区天然气水合物资源量为 $1.4 \times 10^{13} \sim 3.4 \times 10^{16} \text{ m}^3$, 包括海洋天然气水合物在内资源总量为 $7.6 \times 10^{18} \text{ m}^3$, 而日本学者 Yanazaki Akira 预计世界天然气水合物的储量, 海域水合物是陆上水合物的几十倍。目前大多数学者认为储存在天然气水合物中的碳至少有 $1 \times 10^{13} \text{ t}$, 约是当前已探明的所有化石燃料 (包括煤、石油和天然气) 中碳含量总和的两倍。

(三) 天然气水合物试采技术进展

1. 天然气水合物开采机理

天然气水合物与常规传统型能源不同, 其在埋藏条件下是固体, 在开采过程中分解产生天然气和水。针对天然气水合物这一性质, 其开采基本原理都是围绕着如何改变天然气水合物稳定存在的温度、压力条件, 促使其分解, 进而产出天然气。图 1 给出了打破天然气水合物稳定状态的方法, 图 1 中实线为天然气水合物相平衡曲线, 当温压条件位于曲线右上方时, 水合物稳定存在, 当天然气水合物的温压条件位于曲线右下方时, 水合物不稳定发生分解。图 1 中 A 点为水合物稳定存在的某个温压条件, 可以通过降低水合物藏压力, 或者提高水合物

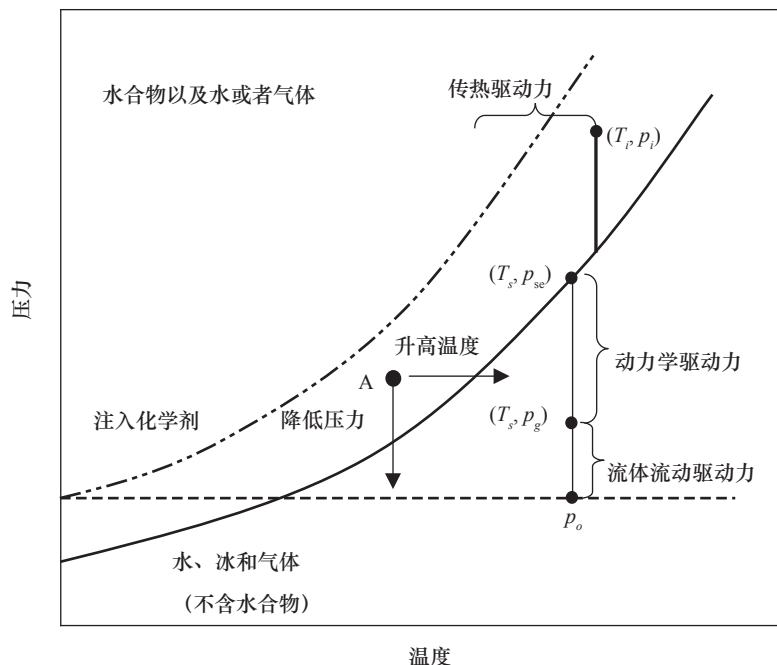


图 1 各种方法所引起的天然气水合物相平衡曲线的移动

藏温度，或者向水合物藏中注入化学剂等使处于 A 点稳定状态的水合物发生分解，其中双点划线为注入化学剂引起的相平衡曲线移动。据此，天然气水合物开采技术大体上可分为三类：降压法、注热法、化学剂法^[1-3]。同时 CO₂ 置换开采、就地氧化还原等方法也在探索中。

2. 天然气水合物试采进展

1971 年，苏联成功开发位于麦索雅哈气田区域的冻土天然气水合物，成为迄今为止世界上第一个实现开发的水合物矿体^[4]。2002 年，日本在加拿大西北部用加热法开采水合物获得成功；2007 年，加拿大等将继续在西北部进行注化学剂法开采水合物藏试采；2012 年美国在阿拉斯加采用 CO₂ 置换法进

行冻土天然气水合物试采。2013 年 3 月 12—18 日，日本在其近海成功实施了世界上第一次海域天然气水合物试采。目前试采技术现场测试主要进展总结见表 1。

麦索雅哈天然气水合物藏开发：麦索雅哈气田位于俄罗斯西伯利亚克拉斯诺雅尔边区的乌斯季-叶尼塞永久冻土地区，是典型的具有下覆自由气的天然气水合物藏^[5,6]（见图 2）。是目前世界上唯一一个进行过商业化开采的天然气水合物藏，其基本开采方法为利用降压和注入化学剂（如甲醇和 CaCl₂）的方法断续开采 17 年后停止开采。麦索雅哈气田的生产曲线见图 2，其产气量的 36% 通过天然气水合物矿体分解获得，是迄今为止世界上第

表 1 世界天然气水合物现场试采项目概况

名称	储层特性	开采方式	研究周期
麦索雅哈	深度：700~800 m 厚度：84 m 砂岩	降压 注化学剂	断续生产 17 年 36%
加拿大马更歇	深度：800~1100 m 厚度：110 m 砂岩	2002 年：注热盐水、降压 2006—2008 年：降压	2002 年：14 天 2006—2008 年：7 天
阿拉斯加北坡	厚度：40~130 m 饱和度：75% 砂岩	确定 4 个长期试开采点 降压、CO ₂ 置换	2003—2005 年：资源描述 2006—2009 年：试验 2009—2012 年：试采
日本爱知海	水深：1000 m 埋深：300 m 砂岩	降压	陆地技术验证基础上 2013 年 3 月 12 日
墨西哥湾	水深：2000 m 埋深：300 m	室内模拟	2012 年前：资源描述 试验 2013—2015 年：试采

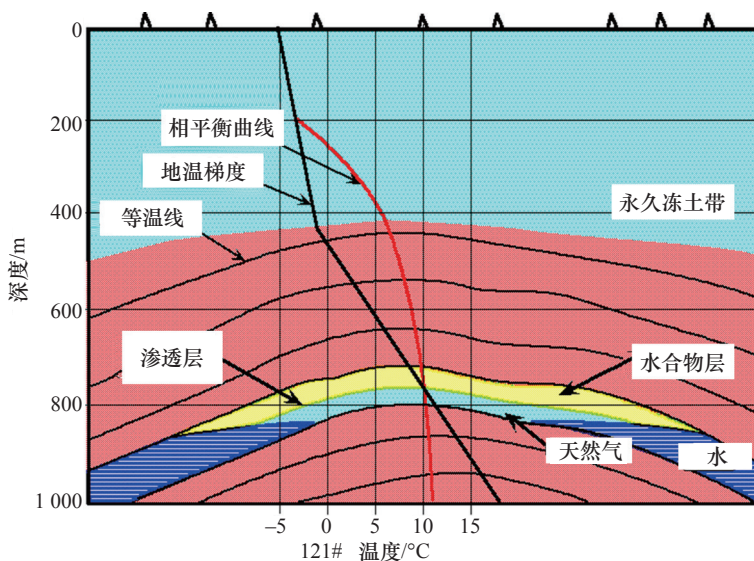


图 2 麦索雅哈气田水合物藏分布图

一个商业开发的天然气水合物藏。

加拿大马更歇三角州冻土天然气水合物试采：1975 年，加拿大获取冻土天然气水合物样品，之后进行了冻土水合物资源勘察等工作^[7,8]。2002 年，日本联合多方在加拿大西北部用加热法开采水合物获得成功，其试采井布置见图 3：2 口观测井、1 口试采井。试采注热工艺流程见图 4，单井日产约 480 m³；2007—2008 年，日本联合多方在加拿大西北部继续进行天然气水合物的试采，用降压法开采水合物获得成功，单井日产约 5 300 m³。

阿拉斯加北坡地区水合物试采项目：据美国地质调查局的分析，在阿拉斯加北坡地区水合物的资源量约为 590 万亿立方英尺 (TCF)，其稳定带分布如图 5 所示。其中，在 Eileen 地区具有 33 TCF 的

资源量，进一步的室内研究分析结果表明，在该地区的 Milne Point Unit (MPU)，Prudhoe Bay Unit (PBU) 和 Kuparuk River Unit (KRU) 等工业基础设施齐全的地区，水合物中气体的最高产量可达 12 TCF。2008 年 10 月 1 日至 2013 年 6 月 30 日，康菲石油公司接替英国石油公司 (BP)，在阿拉斯加北坡的普拉德霍湾 (Prudhoe Bay Unit) 进行了利用 CO₂ 气体置换开采甲烷水合物和降压开采水合物的实验 (见图 6)，实验目的是评估水合物生产方法的可行性以及了解其在现场应用中的意义^[9,10]。

试开采初期，产出物只有气体，没有自由水，但实际结果显示在试采后期，自由水已经充满了整个生产井，经过举升将水排出。经过人工举升后，气体和水的产水速率迅速提高。整个试采过程中，

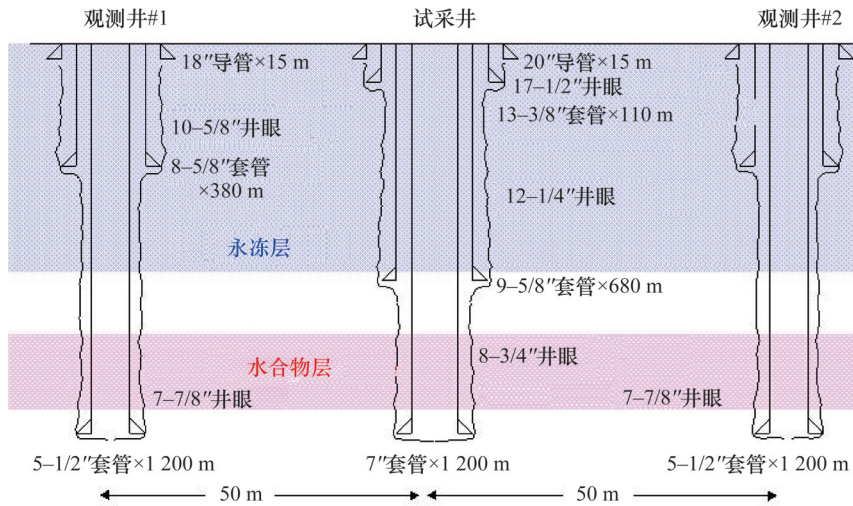


图 3 加拿大水合物试采井布置

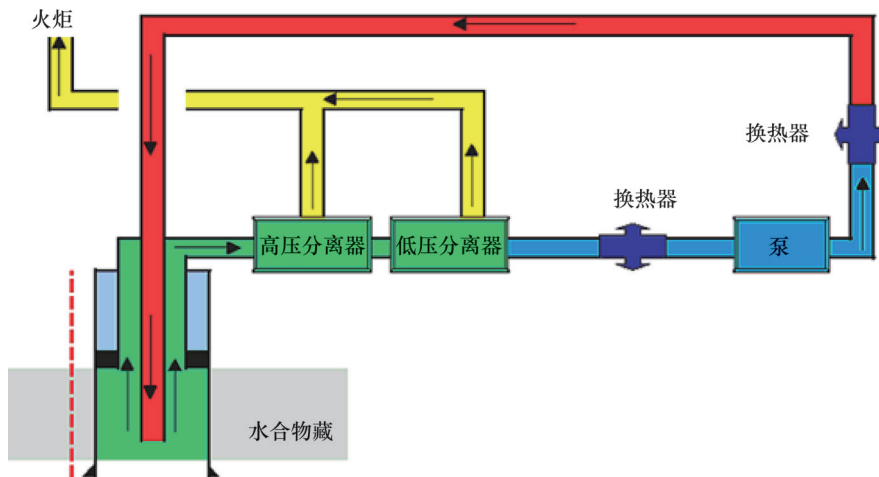


图 4 加拿大水合物试采工艺

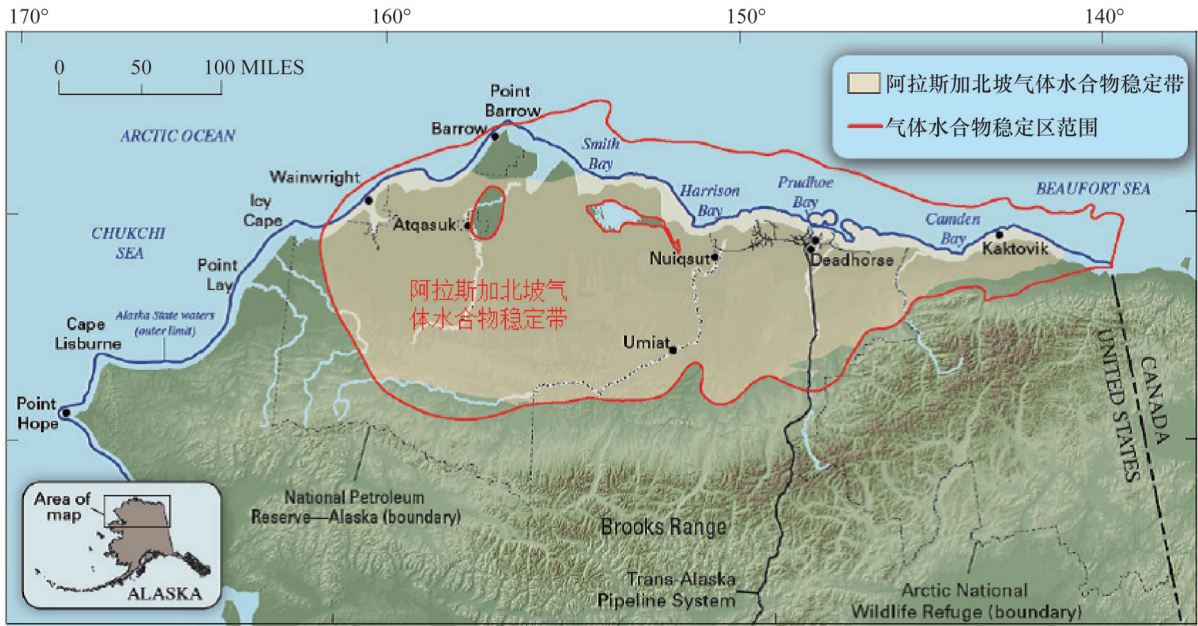


图5 阿拉斯加北坡气体水合物稳定带

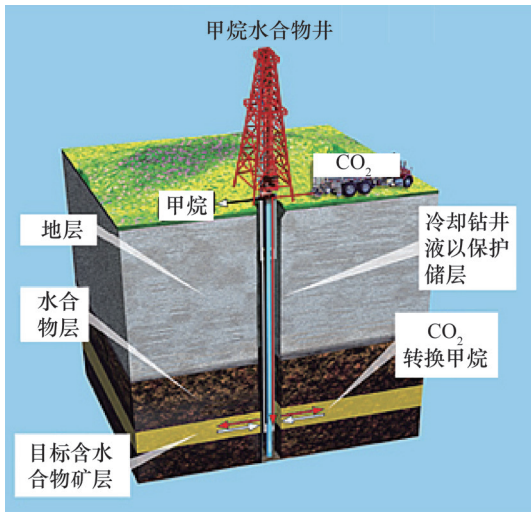


图6 CO₂ 置换开采甲烷水合物概念图

共采出 CH₄ 气体 855 千标准立方英尺 (mscf), 此外, 注入的 CO₂ 和 N₂ 混合气体有部分被重新产出带到地面, 其中 N₂ 气共回收 117.11 mscf, 占注入 N₂ 总量的 70%, CO₂ 气体共回收 19.44 mscf, 占注入总量的 40%。

日本海域水合物试采项目: 日本于 2000 年开始“二十一世纪天然气水合物研究开发计划 (MH21, 2001—2016 年)”, 该计划历时 15 年, 分三个阶段实施, 涵盖了天然气水合物藏勘探、开发、环境影响以及海上开采工程方案、价值化研究等各个方面。第一阶段 (2001—2006 年) 确定天然气水

合物富集区, 研究天然气水合物开发方案、钻完井技术以及开采模拟技术, 评价天然气水合物开发对环境的影响; 第二阶段 (2007—2011 年) 进行海上开发试验、技术和经济评估; 第三阶段 (2012—2016 年) 末期进入商业开采。2013 年 3 月 12—18 日, 日本在其近海 1 000 m 水深、泥线下 270 m (见图 7), 采用降压法进行了海域天然气水合物的试采工作, 单井最高日产 20 000 m³ 气, 其采用了 4 口井, 3 口监测井、1 口测试井 (见图 8)。同时采用井下电潜泵排液采气和井下电加热等技术手段和方法, 成为世界上第一个实现海域天然气水合物试采的项目^[11]。

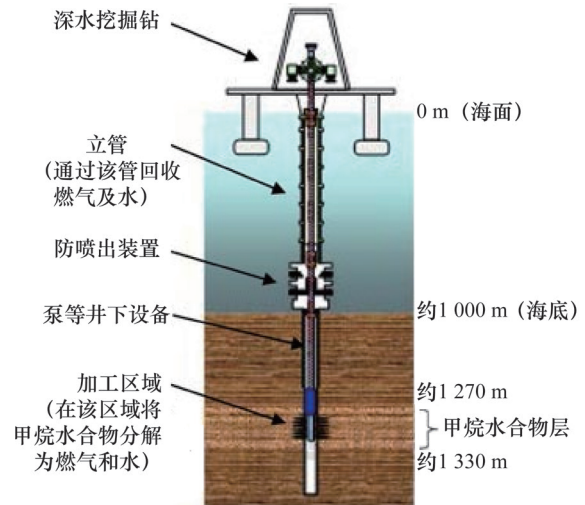


图7 日本海域试采井的布置

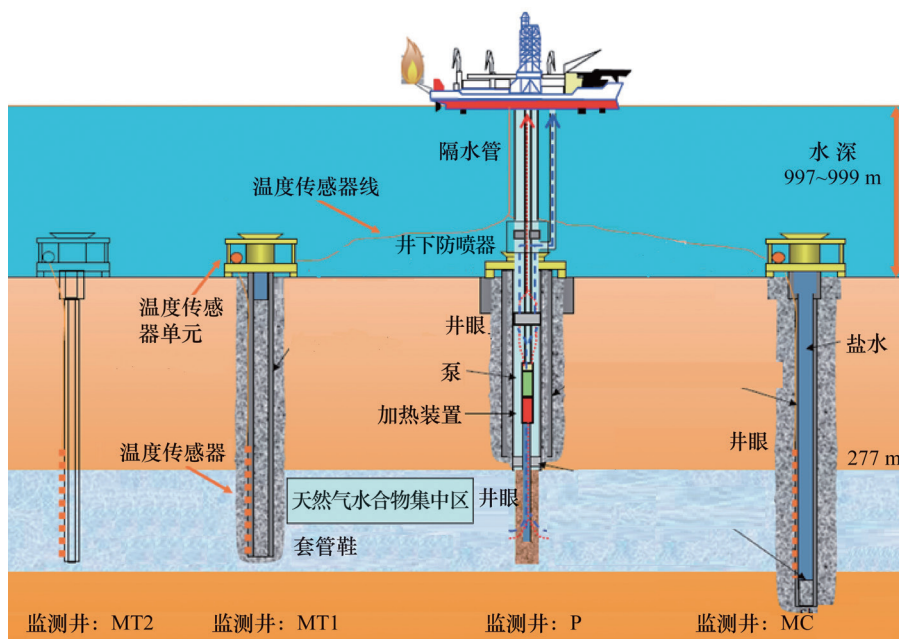


图 8 日本海域水合物试采

(四) 国外技术态势和动态

虽然天然气水合物冻土和海域的短期试采已实施，但天然气水合物开发或无序分解潜在的环境风险和市场风险还未解决。技术动态如下。

(1) 冻土和海域试采仅在成岩 / 砂层天然气水合物矿体，实施时间短；

(2) 目前思路为借鉴常规油气的开发方法，采用常规油气开采理论和技术，通过降压、注热、注剂等以气体形式进行短期测试；

(3) 非成岩水合物的开采现在还是空白也是世界科技的前沿，冻土和海域试采仅在成岩 / 砂层天然气水合物矿体，采用常规油气开采理论和技术，通过降压、注热、注剂等以气体形式进行短期测试；

(4) 尽管美国、加拿大、日本在北极冻土区域、日本近海进行了短期的天然气水合物藏试采技术测试，但制约天然气水合物开发的技术瓶颈“环境安全和高效开发”还没有真正解决，包括环境安全、装备安全、生产安全的风险。

三、我国天然气水合物勘察和开采技术研究进展

我国对天然气水合物的调查研究起步较晚，大约落后西方 30 年。从 1996 年原地质矿产部设立天然气水合物调研项目开始，至今大致经历了

三个阶段：1996—1998 年预研究、1999—2001 年前期调查和 2002 年至今水合物资源勘察和开采机理室内研究。

(一) 南海天然气水合物资源概况

我国在南海北部陆坡东沙、神狐、西沙、琼东南 4 个海区开展了水合物资源调查，初步圈定 11 个远景资源区，资源量约 6.8×10^{10} toe。2007 年、2013 年、2015 年分别获取海域水合物样品，海域天然气水合物取样信息见表 2，初步证实我国海域具有广阔的天然气水合物资源前景。

表 2 2007 年和 2013 年海域水合物取样概况

2007 年海域样品	2013 年海域样品
水深 1 200 m	水深 600~2 200 m
埋深 199~399 m	埋深 13~199 m
取样井 7 口	取样井 30 口
获取样品 3 井	获取样品 13 井
甲烷含量 >98 %	各种类型水合物
混合成因	甲烷含量 >98 %，混合成因

然而，对于海域天然气水合物试采而言，我国目前所发现的天然气水合物区域试采难度大，主要表现为：

(1) 埋深浅：目前所获取的样品埋深在 13~299 m，部分裸露在海底；

(2) 弱胶结：世界范围内海域水合物 80 % 储存在深水浅层未胶结的泥岩中，我国三次多口井取样的样品均储存在泥质粉砂中；砂砾直径在 10 μm 左右；一旦样品分解，整个岩层的骨骼结构几乎完全破坏；

(3) 甲烷含量高：目前我国获取样品甲烷含量在 98 % 以上；

(4) 形态多样：目前我国获取世界各国已经获取的水合物典型样品，层状、结核状、米散状、蜂窝状（见图 9）。



图 9 海域水合物样品

如何进行海底浅层非成岩弱胶结水合物的开发，目前在世界范围内还是空白，同时缺乏相应的天然气水合物藏开发理论的支持是水合物开发面临的巨大挑战：油气开发理论建筑以油气水在岩石孔隙骨架内的渗流力学为基础，开发过程中岩石骨架无本质变化；而水合物本身就是储层构造的一部分，开采过程中原固态结构溃散、集解析、相变、多相流、渗流为一体的复杂过程，所以我国海域水合物开发面临着巨大挑战。

(二) 海洋水合物常规开采技术思路

依托国家“863”计划和重大科技专项，我国已初步建立了世界先进水平的三维、可视天然气水合物物理模拟实验系统、基础物性研究平台，并探索了海底浅层水合物工程地质灾害研究和风险评价工作，并提出了深水海洋天然气水合物和油气联合

开发的总体思路。针对海域潜在目标区进行了常规开采方法的模拟分析，并创新性提出了固态流化开采思路和方法。

海上天然气水合物开采工程概念方案：采用降压、注热开采方式，通过水下生产系统、海底管道+深水浮式生产设施进行水合物藏试验开采，采用井下分离与电潜泵（ESP）排水采气组合系统，见图 10。即水合物分解后采出气体通过井筒进入水下生产系统，采出的水合气等多相流体通过海底管道和立管回接到上部生产处理设施，处理合格的气体就地放空或燃烧、水经处理后重复利用或达标排放，水下设施控制采用复合电液控制方法，通过脐带缆进行有效控制，同时注热和化学药剂管线通过单独管道或脐带缆输送到井口设施。

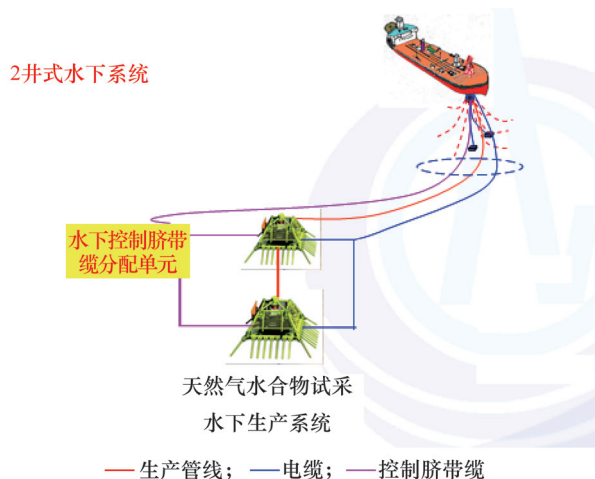


图 10 海上天然气水合物试开采概念方案

四、我国天然气水合物发展战略

我国已于 2007 年、2009 年、2013 年分别获取海域、冻土水合物样品，展现了巨大的资源潜力，对于我国这样一个能源相对短缺的国家，尽早开发利用天然气水合物是解决我国后续能源可持续发展的重要战略领域。同时，通过国家“863”计划、中国海洋石油总公司等项目支持，我国建立了世界先进的三维天然气水合物开采模拟实验系统、基础物性测试平台，探索了海底浅层水合物工程地质灾害风险评价方法。目前，我国天然气水合物室内机理研究基本跟进国外先进水平，但在目标勘探、钻探取样和试采工程实施方面与国外差距较大，当前急需开展锁定海域天然气水合物目标区域、通过目

标区域详细勘探、钻探取样、针对目标区域的试采关键技术、装备研究以及试采工程实施核心技术攻关。

(一) 研究战略

密切跟进国际天然气水合物最新进展，以我国陆地冻土、南海北部陆坡发现天然气水合物为契机，围绕天然气水合物目标勘察、试开采，开展天然气水合物目标勘探与储量评价技术、室内机理及排采模拟分析技术、试采工程实施关键技术和装备研制及试采过程安全监测等关键技术，建立天然气水合物成藏机理、样品分析和三维、多井、可视试采物理模拟及数值模拟系统、锁定 2~3 个海域富集区，提供 2~3 个上钻目标，具备试开采工程技术能力，为实现天然气水合物试采做好技术准备。

(二) 研究思路

我国海域天然气水合物资源调查研究程度较低、天然气水合物藏的地质认识薄弱、开采技术研究还处于室内模拟系统和模拟分析方法的建立阶段。急需开展试验开采技术前期研究开发相关的关键技术，跟进国际先进水平，找准制约目标实现的若干关键问题，合理稳步地推动这一前沿科技项目的科技投入，锁定富集区域，开展试验开采模拟和概念设计技术研究，逐步形成全面系统海域天然气水合物目标勘探、室内开采模拟、试采工程技术储备能力。重点解决：怎么找？哪里有？有多少？安全性与经济性？

(1) 确定目标区域：通过目标勘探确定水合物

赋存区域和成藏机理；掌握地球物理勘探技术、提供 2~3 个上钻目标，在此基础上锁定 2~3 个富集区；

(2) 获取实际样品：通过钻探取样工艺研究和工程实施，证实水合物的存在，为室内研究提供目标区域信息和样品；

(3) 试采工程关键技术和装备研制：通过室内研究得到水合物沉积物基础物性，针对目标区域，通过物理模拟和数值模拟分析优化试采方案；在勘探评价、钻探取样基础上，确定试采区域，针对试采工程实施，进行试采工程设计、建造等关键技术装备研制；

(4) 安全监测与风险评价：通过室内分析和监测技术、装置的研究，为水合物取样和试采工程实施规避风险提供技术支持；

(5) 选择性地加入国际水合物联合工业项目：跟进国际最新进展，最大限度地了解和掌握国外研究动态、方法、成果，提高研究起点，建立国际合作交流平台。

同时天然气水合物开发面临着安全、可靠、经济方面的技术挑战，还是一个不断探索的新技术领域。重点技术研究路线见图 11。

(三) 重点领域

目前水合物的资源评价方法尚不完善，有专家乐观的估计全球天然气水合物的资源总量为传统化石能源的两倍，但从目前已经获取的 30 多个水合物样品分析来看，其形态、储层特性呈现多样性，有砂岩型、砂岩裂隙型、粉质泥岩或细粒型，还有一些分散型。因此大自然给予人类的巨大资源——

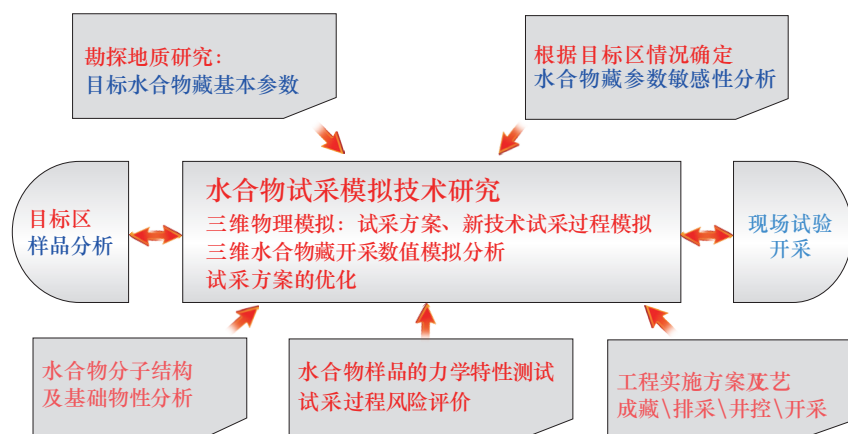


图 11 天然气水合物研究技术路线

天然气水合物有多少能够成为我们“触手可及”的可采储量目前还没有统一的认识，很大程度上将依赖于开采技术的创新成果。天然气水合物研究方向：锁定目标区域、落实资源量、试采技术示范验证、安全风险合理评价。

五、结语

天然气水合物是一种储备性资源，寻找安全、高效、经济的开采方式是当前和今后一段时间内世界科技前沿创新技术的研发重点，围绕北极和海域的试采项目，包括日本海域试验，仍属于试采技术验证范畴，离生产测试、商业开发需求还有一定距离。而海洋水合物由于其储存特性、埋深浅、弱胶结等面临更为巨大的挑战、以及潜在的环境风险。因此，从国家层次和战略高度，对天然气水合物研究与开发做出重大抉择，开展相关战略研究，尽快制订国家的研究和发展计划，具有深远的意义。

如何安全合理地利用好大自然给予人类的巨大资源——海洋天然气水合物资源，克服其所带来的负面影响，需要我们全方位、多层次、多学科地开展水合物相关的科学研究和工程开发技术研究、持之以恒的努力，从而有望在不久的将来使这一能源

真正造福于人类。

参考文献

- [1] 徐勇军, 杨晓西, 丁静, 等. 复合型水合物防聚剂[J]. 化工学报, 2004, 55(8): 1358-1363.
- [2] 裘俊红, 张金锋. 水合物抑制剂研究现状[J]. 化学工程, 2004, 32(6): 23-25.
- [3] 周怀阳, 彭晓彤, 叶瑛. 天然气水合物 [M]. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [4] 孙志高, 王如竹, 樊栓狮, 等. 天然气水合物研究进展[J]. 天然气工业, 2001, 21(1): 92-96.
- [5] 赵义, 丁静, 杨晓西, 等. 天然气水合物及其生成促进与抑制研究进展[J]. 天然气工业, 2004, 24(12): 132-134.
- [6] Mehran Pooladi-Darcish. Gas production from hydrate reservoirs and its modeling[J]. Journal of Petroleum Technology, 2004, 56(6): 65-71.
- [7] Ajay P M, Ulfert C K. An industry perspective on the state of the art of hydrate management[C]//Proceedings of the fifth international conference on gas hydrates, Norway, 2005.
- [8] Ugur Karaaslan, Mahmut Parlaktuna. PEO-A new hydrate inhibitor polymer[J]. Energy & Fuels, 2002, 16(6): 1387-1391.
- [9] Freer E M, Sloan E D. An Engineering approach to kinetic inhibitor design using molecular dynamics simulations[Z]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2000.
- [10] Changman Moon, Paul C. Taylor, P. Mark Rodger. Clathrate nucleation and inhibition from a molecular perspective[J]. Canadian Journal of Physics, 2003, 81(7): 451-457.
- [11] Makogon T Y, Sloan E D. Mechanism of kinetic inhibition[C]//Proceeding of 4th international Hydrate conference, Yokohama, Japan, 2002: 498-503.