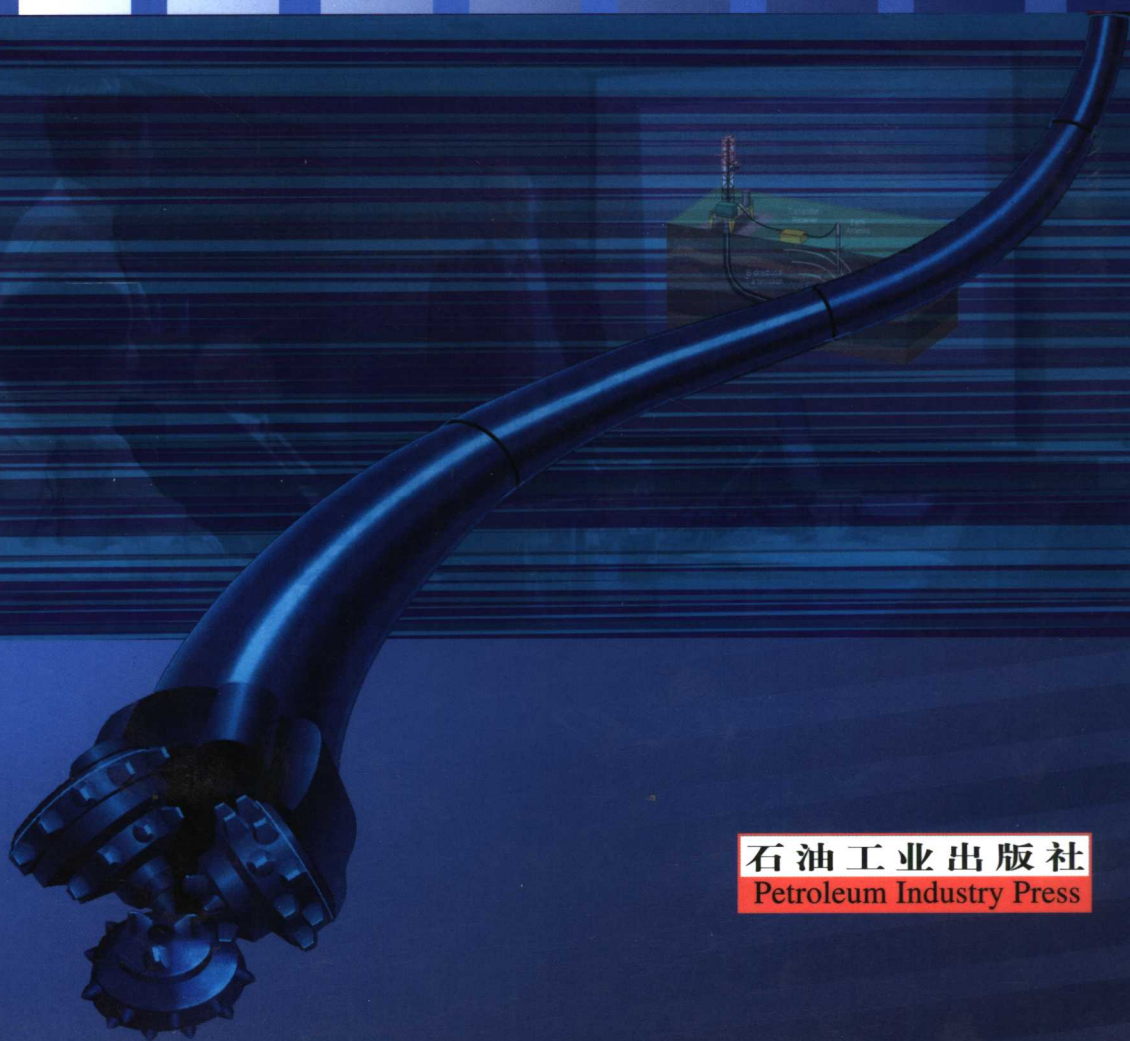


◎ 苏义脑 主编

2006 年

钻井基础理论研究 与前沿技术开发新进展 学术研讨会论文集



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

2006 年钻井基础理论研究 与前沿技术开发新进展 学术研讨会论文集

苏义脑 主编

石油工业出版社

内 容 提 要

本书收集了 2006 年钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会上交流的优秀论文, 内容包括钻井工艺技术、钻井液技术、定向井技术和固井技术等。

本书适应钻井工程技术人员阅读。

图书在版编目 (CIP) 数据

2006 年钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会论文集/苏义脑主编.
北京: 石油工业出版社, 2007. 7

ISBN 978-7-5021-6065-4

I. 2...

II. 苏...

III. 油气钻井-学术会议-文集

IV. TE2-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 063483 号

出版发行: 石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64523583 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2007 年 7 月第 1 版 2007 年 7 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 15.75

字数: 397 千字 印数: 1—1000 册

定价: 60.00 元

(如出现印装质量问题, 我社发行部负责调换)

版权所有, 翻印必究

《2006 年钻井基础理论与前沿 技术开发新进展学术研讨会论文集》

编 辑 组

主 编 苏义脑

成 员(按姓氏笔画排序)

苏义脑 余金海 汪海阁

徐鸣雨 盛利民 程 伟

钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会

开 幕 词（代前言）

苏义脑

尊敬的各位领导，各位专家，各位代表：

大家好！

在这“不似春光，胜似春光”的北京金秋，在全国人民热烈庆祝国庆 57 周年和十六届六中全会胜利闭幕的日子里，经过近十个月的酝酿和筹备，我们中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室、中国石油学会工程专业委员会钻井工作部钻井基础理论学组和北京振动工程学会联合举办的“钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术研讨会”今天召开了。我谨代表中国石油学会工程专业委员会钻井工作部钻井基础理论学组、北京振动工程学会和中国石油天然气集团公司钻井工程重点实验室，向与会的各位院士、各位专家和代表，表示诚挚的谢意和衷心的问候！

参加本次会议的有来自中石油、中石化、中海油三大集团公司，国土资源部、煤炭工业协会、铁道部、建设部、航天科工集团、第二炮兵、石油高校和相关院校的 4 名院士和 90 余名专家，包括钻井基础理论学组的代表、北京振动工程学会的代表、钻井工程重点实验室的代表和研究人员、部分特邀专家和入选论文的作者。

此次会议得到了有关领导部门、著名专家的大力支持和新闻媒体的关注。中国石油天然气集团公司科技发展部、北京市科协学会工作部、中国石油集团钻井工程技术研究院的领导同志也在百忙之中莅临会议并将作重要讲话。中国工程院刘广志院士、沈忠厚院士、罗平亚院士一直对本次会议表示高度重视。虽然他们因紧急公务或健康原因不能亲临今天的会议，但都多次打电话给我询问会议筹备情况、派代表参会并祝会议圆满成功。刘广志院士特为会议写来一信，高度评价本次会议的重要意义，并撰写了专门文章。另外，《中国石油报》、石油工业出版社等新闻出版单位委派了资深记者和编辑出席会议。让我们再次以热烈的掌声向他们表示感谢！

本次会议的目的，正如会场两边悬挂的横幅所写那样：“密切交流合作，深化基础研究，加速科技成果转化；坚持自主创新，加强前沿攻关，推动钻井技术进步。”在本次会议上，我们要总结近几年来我国油气钻井基础理论研究和前

沿技术开发方面的进展和成果，交流经验，分析现状，找出问题与差距，并对今后如何开展好这一工作提出建议，以促进下一步更好的发展。

各位代表！本次会议是在十分喜人的大形势和大背景下召开的。自2004年9月在大连举行的“钻井基础理论与前沿技术开发新进展学术讨论会”闭幕以来的两年中，国内科技界和与中国石油钻井工程界有关的几件大事值得我们充分关注：第一，《中共中央国务院关于实施科技规划纲要增强自主创新能力的决定》于2006年1月26日制定，2月9日发表；第二，胡锦涛总书记2006年6月5日在两院院士大会上就“建设宏大的创新型科技人才队伍”发表了重要讲话；第三，温家宝总理在2005年3月28日举行的全国科技奖励大会的讲话中明确指出：“自主创新是支撑一个国家崛起的筋骨”“真正的核心技术是买不来的”；第四，中国石油天然气集团公司党组贯彻落实科学发展观，为构建自主创新体系和加强油气钻井的自主创新能力，于今年6月份成立了中国石油集团钻井工程技术研究院；第五，中国石油天然气集团公司制定了“十一·五科技发展规划”，并于今年4月召开了科技大会，指导我们今后工作的“钻井工程十一·五发展规划”也已经出台。可以看出，从中央到企业，上上下下，各级领导，多项决策，都为我们从事油气钻井科教工作的同志创造了前所未有的良好氛围，为我们开展基础研究与前沿技术攻关提供了坚强有力的支持和保障。形势喜人，必须十分珍惜；机遇难得，务必牢牢把握。

本次会议的一个特点，就是北京振动工程学会也是会议的主办单位之一。众所周知，油气钻井工程是一个多专业交叉的系统工程，其中存在着很多动力学问题、振动问题和控制问题。多年来，我国钻井界曾在动力学与振动问题方面开展过一定的研究，但是还远远不够深入，加强有关基础与应用研究一直是我们的追求；另外，北京振动工程学会是一个以动力学与振动问题研究为主要方向和优势的学术团体，汇集了首都高校、部委和中国科学院等专门从事振动研究的专家学者，他们很愿意用自己的专长为产业界服务，为国民经济的发展做出贡献。本次会议就是要作为一座桥梁，实现中国油气钻井行业和北京振动工程界的沟通；本次会议就是要搭建一个平台，使油气钻井科技工作者和北京振动工程学会的专家们携起手来，共同促进油气钻井工程中有关动力学与振动问题方面的基础理论与应用研究取得进展，使振动工程界的专家学者更好地发挥自己的聪明才智，在国民经济的主战场上不断做出新贡献。我们相信，本次会议将会对钻井工程重点实验室、钻井基础理论学组和北京振动工程学会今后的发展产生积极的影响！

各位代表：

钻井基础理论研究和前沿技术开发的重要性已经毋庸置疑，科技创新与可持续发展已经成为国人的共识。今天的研究是明天的技术，是后天的效益，是我国石油技术发展的源头和动力，是支持我国油气工业可持续发展的后盾。在

座的各位都是从事钻井、动力学基础理论研究、前沿技术开发和科研管理工作的精英，发展我国钻井与振动基础研究与前沿技术的重任，责无旁贷地落在各位代表的肩上。让我们会聚一堂，交流成果与心得，共商发展，谋求创新，为推动我国钻井、振动基础理论和前沿技术的进展而出谋划策。

本次会议得到承办单位“中国石油集团钻井工程技术研究院”领导与员工的大力支持。在此，我代表会议的三个主办单位向他们表示由衷的谢意！

预祝本次会议取得圆满成功！

谢谢大家！

北京

2006. 10. 26

中国工程院院士刘广志给本次“研讨会”的来信

义脑老弟：

自从我接到中国石油学会关于召开“钻井基础理论与前沿技术开发新进展研讨会”的通知，我一直感到兴奋不已。这是我们全国钻探界的一次盛会，是在我国经济崛起取得重大成果后的一次非常重要的，也是我们石油部门成立“中石油钻井院”之后的一次非常重要的会议。她将是我国钻井工程科学（前工程院院长宋健先生给工程院各个学部的一次新定语）的一次向钻井理论进军的盛会。她不仅将推动我国钻井工程向高新技术发展，还将对我国地质学向数字地球、地球科学发展起到重要的推动作用。通过这次大会将会洗刷掉钻井工程没有理论，单单是一种施工手段的错误论点和说法。

我们简单回顾，1988年苏联钻成CF—3井达12262米第一口世界超深井，才推动了数字地球的全新概念，从而将传统地质学进步到地球科学。这是全世界地质界的一件大喜事。这也是我们钻井界对地球科学的巨大贡献。我们钻井界并未张扬这些成绩，而是不断实现各种深度的科学钻探，以继续为创造通道，提供各种测井、取样新方法深入钻孔，为研究地球提供更多的“数据”服务。

祝大会取得令人鼓舞的成果！

一个干了60年各种钻探的老兵 刘广志

敬上

2006年10月11日

目 录

天然气水合物

——未来新能源及其勘探开发难度	刘广志 (1)
非生物源石油天然气的存在是人类用之不竭的洁净能源	刘广志 (8)
煤矿井筒大直径钻井法凿井技术	洪伯潜 (9)
俄罗斯电磁波井底遥测系统及其在油气钻井中的应用	
..... 鄢泰宁 吴翔 季锋 张涛 (17)	
CCSD 科钻一井钻探技术和施工概况	王达 张伟 (29)
油气钻井过程中的振动问题综述	肖文生 鲁桂荣 王凌寒 苏义脑 (37)
CGDS—I 近钻头地质导向钻井系统	
..... 苏义脑 盛利民 邓乐 李林 窦修荣 王家进等 (43)	
侧钻井水平段钻柱淹没工况下横向振动特性研究	王宗明 张宝增 王瑞和 (54)
超低渗透钻井液技术研究与应用	孙金声 屈沅治 (60)
动力学平衡方程的辛两步求解算法	杨蓉 邢誉峰 (67)
CPWD 型环空压力测量系统	
..... 苏义脑 盛利民 邓乐 汪海阁 张晓丽 窦修荣 王家进 (73)	
防漏水泥浆的开发及性能评价	邹建龙 屈建省 吕光明 朱海金 (81)
钻井井架动力测试与综合性能评价	韩东颖 李子丰 周国强 (87)
吉林油田双坨子地区气井固井技术研究与应用	齐奉忠 申瑞臣 王顺利 步云鹏 (94)
振动控制技术在输油管道监测中的应用	吴瑞斌 李英 樊孝春 (100)
井底增压喷射钻井系统的研制与应用	王甲昌 张金成 (106)
空气钻井技术在普光气田的应用	赵朋 肖国益 胡宏涛 (110)
煤层气井裸眼洞穴技术研究	周俊然 王益山 蒋海涛 娄文祥 梁红梅 (117)
水平井的靶心距计算	鲁港 邢玉德 佟长海 谭静 孙忠国 (121)
水基成膜钻井液技术作用机理及应用	孙金声 林喜斌 苏义脑 (127)
水泥膨胀模拟试验装置的研制	袁孟雷 郭宝利 王益山 李长荣 (134)
随钻扩眼工具井底钻压分配的理论与实验研究	管志川 夏焱 (139)
张海 502FH 大位移水平井钻井技术	徐学军 沙东 齐月魁 窦同伟 于学良 (147)
地层—钻头—底部钻具动态作用模型及模拟实验设备研究	
..... 王德桂 高德利 高宝奎 (156)	
水力脉冲空化射流钻井机理与试验	李根生 史怀忠 廖华林 牛继磊 黄中伟 (161)

幂律流体在内管做行星运动的环空中流动的流量计算	崔海清 蔡 萌 修德艳 (166)
自升式钻井平台隔水导管横向振动特性研究及其应用	姜 伟 (171)
杏平 1 水平多分支井钻井技术	赵业荣 谭 平 李 欣 蔺志鹏 王文斌 (178)
深水钻井隔水管动态响应分析技术研究	许亮斌 畅元江 蒋世全 陈国明 (187)
恒装置角曲线钻井轨道计算的方法研究初步	
.....	鲁 港 吴俊林 张海明 王 刚 邢玉德 (195)
流固耦合计算中插值方法的研究	李 维 李 敏 皮懋宁 (205)
国内外气基流体欠平衡钻井腐蚀/冲蚀研究进展.....	万里平 孟英峰 杨 龙 (211)
基于激光干涉法的冲击响应谱测量仪校准方法 ...	李新良 曹亦庆 宋 昊 张大治 (218)
减振器的位置对钻柱纵向振动的影响	李子丰 张书瑞 郭盛堂 刘 卜 (223)
武 M1-1 煤层气多分支水平井钻井工艺分析研究	
.....	乔 磊 申瑞臣 黄洪春 鲜保安 庄晓谦 鲍清英 (230)
重复压裂裂缝起裂应力场模拟	闫 铁 陈要辉 程怀标 (235)

天然气水合物

——未来新能源及其勘探开发难度

刘广志*

(中国工程院院士)

一

20 世纪 40 年代初,国内外科学界对天然气水合物的化学成分、物理结构、形成机制以及其生成与赋存环境与条件都知之甚少,以致对一些突发事件无法解释。例如第二次世界大战胜利后,在南美的百慕大地区不知何故引起天然气水合物的巨量分解,造成严重的海水汽化和海啸,使在该海域航行的数艘船只沉没海底;由于严重的海啸产生的海水动荡和气流负压卷吸作用,竟然将五架军用飞机吸入海底,无影无踪。当时无法解释这种怪现象,于是有人将百慕大地区称为“魔鬼三角”。那时欧洲一带海上石油钻探处于初始阶段,在钻探船定位地点钻探石油,对海域天然气水合物未经勘察,致使天然气水合物大量释放,施工海域的海水严重汽化,顿时数艘钻井平台相继倾覆。

20 世纪 60 年代以后,由于海洋科学钻探(DSDP 和 ODP, Deep Sea Drilling Programe and Ocean Drilling Programe)的大力开展,海上地球物理勘察技术迅速发展。如长距离的地震勘查海床模拟反射(BSR, Bed Simulating Reflection)方法的应用,在世界范围的陆缘地区、海湾地区发现了大量天然气水合物的赋存区域,引起了全世界科学技术界的惊讶和普遍关注,各发达国家政府大量投资,开展研究工作。此后,在北美的北部、美国和加拿大接壤的地区,以及俄罗斯北部的永冻层地区也陆续发现了大量的天然气水合物。

天然气水合物是一种清洁能源,是可持续发展的绿色能源,已经成为大多数国家在能源战略平衡发展中必须加以考虑的重要因素。在地球上矿物能源日益短缺的今天,天然气水合物无疑给人类带来一种新的希望。据目前一些专家们估计,全世界天然气水合物的资源量约为 $5 \times 10^{18} \text{ m}^3$, 相当于目前世界年能源消耗的 200 倍。据 1999 年 11 月日本资源能源厅调查,日本南部海沟的 4200 km^2 范围内,其蕴藏量为日本年天然气消耗量的 1400 倍。

二

煤、石油、天然气是当今世界各国的主要矿物能源,已开采使用近百年。据专家们估计,再有 30~40 年,就会面临能源枯竭的局面。国际能源机构曾指出世界油气产量在 2001—2020 年将达到顶峰,此后,就不可避免地持续下降。强烈的能源忧患意识产生寻找新的替代新能源的热潮。估计 90% 的海域和占陆地 26% 的高纬度长年永冻区所发现的天然气水合物,势必引起各国政府和企业界的高度重视,投巨资、强化研究、希冀尽快有新的突破。

* 刘广志,联系电话:62844673 (h)

1934 年美国科学家在冬季低温情况下，首次发现长距离输气管道被一种白色结冰（即天然气水合物）所堵塞，不仅影响输气，还很难处理，引起了对堵塞管道的天然气水合物的研究。

1965 年前苏联在西伯利亚麦索亚哈气田，发现了天然气水合物的矿层，引起许多国家科学家的重视。

20 世纪 70 年代世界各大陆边缘和高纬度极地永冻层发现天然气水合物，主要为甲烷水合物，为世界范围所广泛认可。在美国，新泽西州和乔治亚天然气水合物集中区已经绘在图上。美国东南部海外有一处（仅 30000km²）处于快速沉积形成山脊带，蕴藏着美国年消耗天然气量近 30 倍的天然气水合物，这一地区称为布拉克山脊（Black Ridge）。与此同时，在许多其他地区，如西伯利亚、表麦齐河三角洲、阿拉斯加的北坡，都探索到可观数量的天然气水合物，北坡地区还试钻了两口开发井，取得了可喜的效果。从库页岛以东的鄂霍茨克海中，水深 708m 处，贯入海底沉积物 2m 取出了形状不规则的天然气水合物岩心。

1979 年深海钻探计划（DSDP）第 66、67 航次和此后的大洋钻探计划，都取得了岩心，发现了天然气水合物。

1974 年苏联在黑海 1950m 水深处，取得天然气水合物冻状样品。此后在黑海、贝加尔湖等地海底取样与地震探测，纷纷发现天然气水合物。

1980 年年底德国用“太阳号”调查船与其他国家合作，先后在东太平洋、西太平洋白令海域、南沙海槽、苏拉威西海域都获得了样品和地震标志。

日本是个矿物能源缺乏的国家，1991 年年底，据日本资源能源厅公布勘查结果：在静岗至四国海域的南部海沟，有厚达 30m、面积为 42000km² 的埋藏可燃冰，约等于日本年天然气产量的 1400 倍，埋藏量约 74000 亿 m³，可供 100 年使用。

1999 年国土资源部中国地质调查局广州海洋地质调查局，拥有海洋调查船 4 艘，在我国海域南海北部西沙海槽区采集高分辨率多道地震测线 534.3km，至少在 130km 剖面上识别出 BSR 标志，矿层厚 80~300m，拉开了我国天然气水合物资源调查的序幕（表 1）。2000 年该所又完成了高分辨率多道地震测量 1523.3km，多波束海底地形测量 703.5km 及多种现代化取样措施，经综合分析表明，南海北部西沙海槽区的天然气水合物存在面积较大，是一个可观的远景区，2001 年至今工作仍在继续。

表 1 国土资源部广州海洋地质调查局海洋地质、地球物理综合调查船及调查设备简表

船 名	船参数及拥有的设备	调查船参数	拥有的调查设备
“海洋四号”船		船长 104.21m，宽 13.7m，吃水深度 4.95m 满载排水量 3300t，主机为 2 台 4800hp 柴油机，副机台 2100kW，续航能力 30 天	a. 地质采样设备 b. 导航定位设备 c. 环境调查设备 d. 地球物理调查设备 e. 现场分析及测试设备 f. Seabeam-2112 深水多波束测深系统
“探宝号”船		船长 86.63m，宽 14m，吃水深度 4.87m，总吨位 2619t，主机为 4 台柴油机，共 5700hp，巡航速度 15.5 节，续航能力 60 天	a. 地震采集震源系统、地震采集电缆接收系统、地震采集数据记录系统、地震资料处理系统 b. 导航定位控制系统 c. 重力测量系统（KSS-5 型海洋重力仪） d. 磁力测量系统（G821 磁力仪） e. 水深测量系统（Simrad EA200 测深仪）

续表

船 名	船参数及拥有的设备	调查船参数	拥有的调查设备
“奋斗四号” 船		船长 68.45m，宽 10m，吃水深度 3.7m，总吨位 856.84t，主机为 2 台柴油机，共 2200hp，巡航速度 14 节，续航能力 30 天	a. 地震采集震源系统、地震采集电缆接收系统、地震采集数据记录系统 b. 导航定位控制系统 c. 重力测量系统（KSS-5 型海洋重力仪） d. 磁力测量系统（G801 磁力仪） e. 水深测量系统（DSF-6000 测深仪） f. Seabeam-EM950 浅水多波束测深系统
“奋斗五号” 船		船长 68.45m，宽 10m，吃水深度 3.75m，满载排水量 3300t，主机为 2 台 1100hp 柴油机，副机共 900kW，巡航速度 1~15 节，续航能力 20 天	a. 地震采集系统（单道、浅剖、旁扫和 OU 高分辨率地震仪） b. 导航定位控制系统 c. 钻探设备（300 米钻机） d. 地质采样设备 e. 水深测量系统（DSF-6000 测深仪）

国家海洋局二所也传来捷报，预示已找到可燃冰大量存在的 BSR 标志。经初步估算，勾画出分布区域，计算出稳定带的厚度，对其资源量作出评估，约为中国石油总量的 1/2。

经过世界各国政府和科学家的努力，一个世界范围勘查海底天然气水合物的战役已经沸沸扬扬地展开，发现矿区与日俱增，1980 年仅 9 处，到 2000 年已猛增到 88 处。

三

天然气水合物是由甲烷和水（ $\text{CH}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ）在不同的低温（ $1\sim 10^\circ\text{C}$ ），高压（ $>3\text{MPa}$ ）的条件下构成的，天然气水合物结晶结构图见图 1。呈固体状态，外观像冰或固体酒精，取到地面上来，点火就可以燃烧，所以又叫“可燃冰”。 1m^3 的“可燃冰”可释放约为 164m^3 天然气释放的能量。专家们乐观地认为：即使 在世界矿石能源枯竭的情况下，“可燃冰”将为人类提供可持续性、替代性新能源带来新的希望。而且，据广州海洋地质调查局金庆焕院士提供“世界各大洋可燃冰赋存区域图”表明，其总能量为煤、油、气总和的 2~3 倍，分布地域之广令人惊讶。天然气水合物在不同的低温高压条件下水分子的氢键连接形成不同的笼式、空洞、孔穴，其间充满以甲烷为主的气体，其分子式是 $\text{M} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ，M 代表甲烷（Methane）， n 代表水分子数。世界各海区已知海底天然气水合物分布，见图 2 和图 3（均由金庆焕院士提供）。

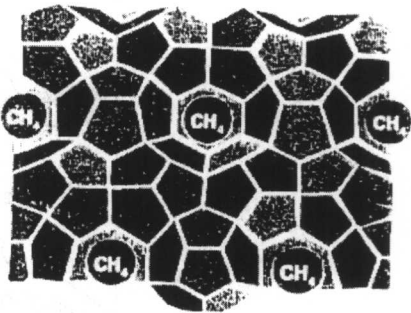


图 1 天然气水合物结晶结构图

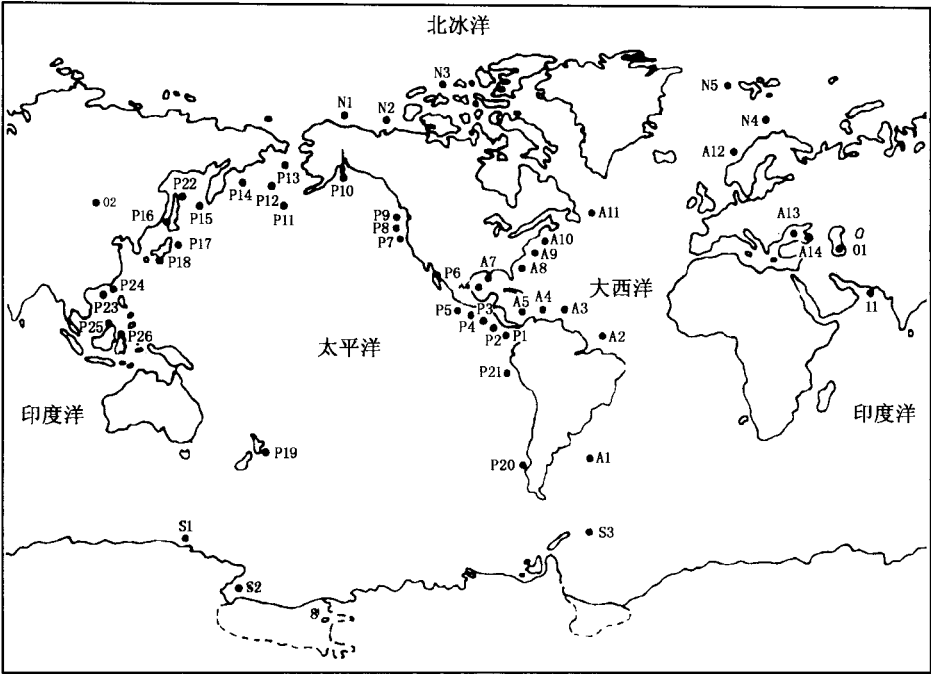


图 2 世界各大洋海底天然气水合物赋存区域及其地质地理位置编号图

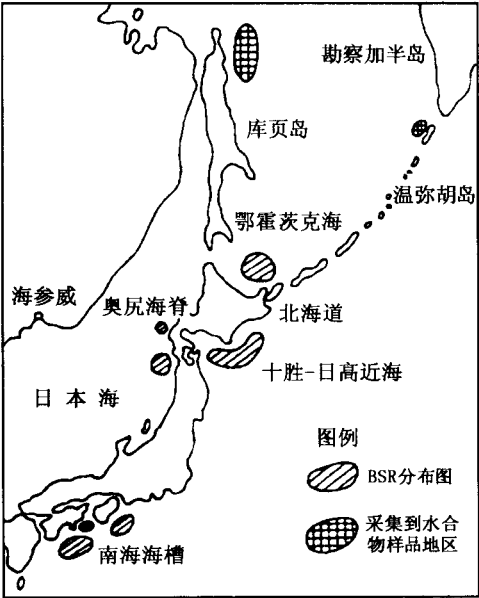


图 3 东北亚海域天然气水合物分布图

四

国际上预测：世界各地海底地球浅壳层（海底 300~1500m），普遍存在着几乎是纯甲烷的天然气水合物，仅甲烷有机碳储量就约为全球石化燃料含碳量的 2 倍，燃烧结果为

H₂O 和 CO₂。尽管预测总量还不一定准确，但天然气水合物作为能源重要载体作为未来可替代新能源的看法是深信不疑的。

然而事物都有好坏、优劣的两个方面：甲烷是一种反应快，影响明显的温室气体，导致全球气候变暖作用，要比二氧化碳大 10 多倍。据计算，天然气水合物中甲烷含量约为大气中甲烷总量的 3000 倍。一旦天然气水合物失去稳定，大大加剧全球气候变暖的趋势将不可小视。此外，还会产生海啸、滑坡、油气管道堵塞、爆炸等灾害，对此是要有足够的安全预防措施。

如果不久的将来，钻井和开采天然气水合物的设备、工艺过关成熟，在高科技控制下，供工业使用或作为化工原料是不应该有问题的。至于民用的前景如何，还很难预料。当前石油、天然气钻采与集输已逾百年，技术成熟，市场竞争激烈。在许多技术难题未尝解决或刚刚解决，形成一套完整天然气水合物钻采工艺的初期，天然气水合物的商业价格会高于石油、天然气。它的钻采费用、经济开采价值，关键是要看 2015—2020 年各国科研成果如何了。

五

天然气水合物的科研工作，引起了世界各国政府的高度重视，美、俄、日、法、瑞典等国较为广泛、深入，并且科研经费高投入支撑此项工作，期望钻探设备与工艺早日进入商业开采阶段。科研范畴大致分为两大领域：一为以地质、物探为基础的基础科学研究，另一重大领域是海上大量已知天然气水合物矿藏的钻探、开采、集输、安全技术等。后者比前者要难度高、投资大。

美国：1995 年他们动用了 ODP 大洋科学钻探船 JOIDES Resolution 决定号（当前世界上钻探设备最完备的深海钻探船）对美国东部的布拉克海域进行了 3 个月 164 航次的勘察，完成一系列深海勘探，证明水合物分布广泛、连续，有商业开采价值。水合物矿层下面还有游离气体，有经济意义。该海域水合物资源量可供美国 105 年需要。1988 年通过一个为期 10 年天然气水合物研究与资源开发计划，年投入 2 千万美元，2010 年达到预期目标，2015 年投入工业生产。

日本：20 世纪 80 年代末，与 ODP 合作深入到东北亚天然气水合物重要富集区，经 ODP127，131 航次进行日本周边深海钻探，获取天然气水合物与 BSR 异常区，据说还在海槽完成了两口试验井，获高达 42000km² 的水合物资源量，可供日本用 100 年，从而投资 6.4 千万美元，执行 1995—1999 年研究计划。

图 4 选自日本海洋钻井公司市川佑一郎文“甲烷水合物的勘探与开发”，勘探所田志坤译。

图面显示左侧曲线图是地表、海水与地层三处温度相关关系曲线，说明水合物形成时的地层温度条件。

右侧曲线图显示地层压力梯度与地层破坏压力梯度（单位：atm/m），以警示钻进压力达到地层压力时，水合物释放大量气体，造成海水汽化，酿成巨大海难事故。

图 4 中间的两条钻井船：

左侧表明一条普通钻井船，或是半潜式钻井船。这类钻井船没有动力定位系统（DPS），有时附加上抛锚定位，也不配备隔水管；一些普通钻井船只从井底到海底井口装一段隔水

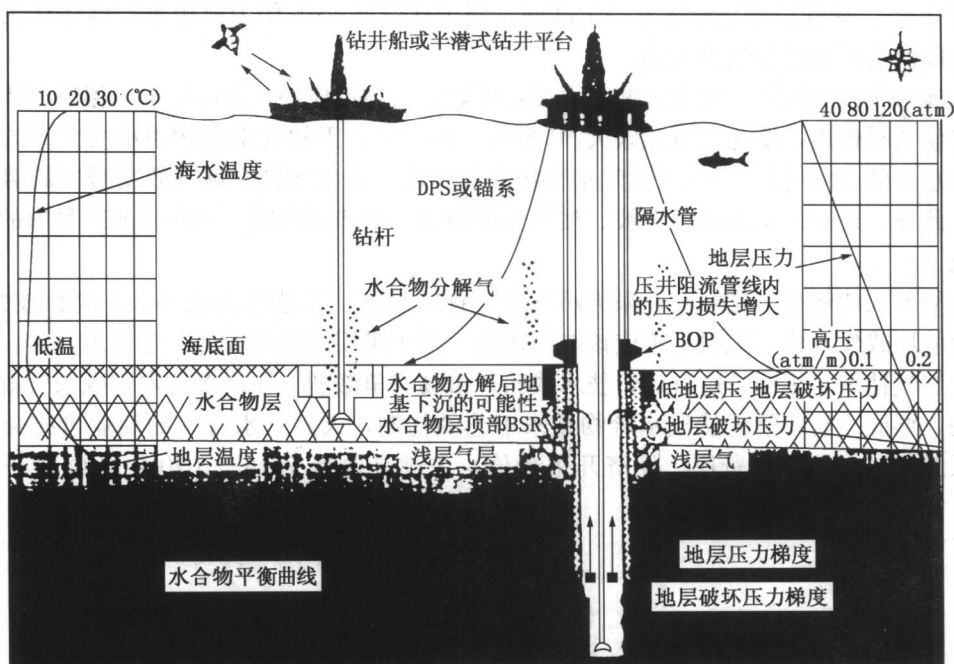


图4 海洋天然气水合物勘探开发存在的主要难题

管，管头装一个漏斗，叫“重返装置”，为了下钻具时，钻头能顺利进入（重返入井口）；有时在海流和风速较大时，钻头和井口重返装置之间还要装上声纳器，钻头和重返装置的声纳器相互呼应，以便帮助钻具进入井口。这类船只能在海上钻探浅层石油。

右侧是一艘比较齐全的钻井船。它配备动力定位系统（DSP），船艏和船尾装有推进器，以随时调整船的前后位置和方位，保持船位基本稳定。有时还要辅助以抛锚定位，才能保持船的平稳性更好。这种船的隔水管是从井底一直装到船甲板上，以便使泥浆从井口泵入，到井底直接循环回船甲板。每节隔水管外还包扎一捆塑料作漂浮物，减轻隔水管重量。隔水管柱的井口处还得装上防喷器组（BOPS）和压井管线，在必要时由甲板上液压系统通过管线输送高压油关闭防喷器。

这类钻井船是迄今为止，设备最先进的，用隔水管系统和动力定位系统装备起来的钻井船，也就是IODP设计制造的隔水管系统科学钻探船（IODP Scientific Riser System Drilling Vessel），它比DSDP用的GLOMAR CHALLENGER（挑战者号）和ODP用的RESOLUTION（决心号）的装备都先进，看来，日本人是想在勘探与开发天然气水合物上，下些工夫以期有所突破。

印度：1995年以后，认为天然气水合物已成为地质工作主题。投资5.6千万美元对印度东西海域，勘察到BSR异常区，表明有良好找矿前景。

我国开发海域油气钻探已有30余年的历史，也积累了许多施工经验，但我国目前拥有的半潜式或自升式钻井船没有动力定位系统（Dynamic Positioning System, DPS），井口无钻具重返井口的引导声纳装置，对取心钻探过程中，起下钻具频繁作业，难以完成。半潜式钻井平台（见图4）也没有DPS系统，靠抛锚定位，而且隔水管系统与防喷气组（BOP），可以遥控，但隔水管系统不能像图中所示，一直可延伸到半潜式钻井船上，依然解决不了钻

具返钻孔作业的需要。

更为严重的是，天然气水合物低温热水溶解后，它很可能从海底井口四周溢出，从而造成海水汽化，或造成海底井口周围地基下沉，或 BSR 底部下沉，若发生这类情况是很难补救与处理的，而且会造成海难。

因此，考虑适合我国国情的水合物勘探开发钻探计划的思路，我认为制定一个逐步渐进的发展原则为好：先钻采陆地永冻层水合物→滨海从陆缘钻大位移水平井→下海钻采水合物。

这个原则体现了：

- (1) 先易后难，与时俱进，逐步提高；
- (2) 赢取时间充分准备高科技钻探船的设计建造；
- (3) 先陆路练兵，再下海开发。

我国这方面研究的勘察工作，开展较晚，但在东海、南海、黄海海域都发现了大面积 BSR 标志层，分别作为水合物的顶底界，西沙海槽一带在海底下 200~700m。

当前参加研究的单位很多，投资分散，基础研究过于重复分散，但另一重要方面的钻探，完井工艺、安全等方面的研究项目极少，投资很少，科技力量不足等，制约了水合物的深入勘探与开发。

参 考 文 献

- 1 金庆焕. 天然气水合物——未来的新能源. 中国工程科学, 2002, 2 (11)
- 2 刘广志. 挑战地球科学的新前沿, 21 世纪大洋综合钻探计划 (OD21). 探矿工程, 2002, 3~6
- 3 赵文津. 岩石圈探测与青藏高原研究. 中国工程科学, 2003, 5 (2)
- 4 刘广志. 开发天然气水合物钻探设备、工艺是关键. 《科学新闻》“院士论坛”, 2003, 1
- 5 刘广志. 天然气水合物勘探与开发的关键——钻探船、隔水管系统与钻采工艺. 见: 刘广志文集, 北京: 地质出版社, 2003
- 6 刘广志. 探工界参与深海多金属结核的开发. 见: 刘广志文集. 北京: 地质出版社, 2003