

·学科进展与展望·

着底式深海天然气水合物钻采工具的 科学问题与开发战略

许红^{1,2} 吴琳³ 胡敬东⁴ 庄茁⁵ 张训华¹ 蔡乾煌⁵
罗友高⁴ 熊军⁴ 闫桂京¹ 孙和清¹ 胡三华⁴ 李春¹
张毅⁴ 龚建明¹ 邢洁本⁴ 崔汝勇¹ 李刚¹

(1 国土资源部海洋地质研究所, 青岛 266071; 2 中国地质大学, 北京 100083; 3 中国地质调查局, 北京 100035; 4 武汉第二船舶设计研究所, 武汉 430064; 5 清华大学工程力学系, 北京 100084)

[摘要] 简述了 DSDP、ODP 科学钻探计划在深海钻、采方面的成功实践及不足, 提出了直接固定在深海海底的天然气水合物钻采工具的基础科学问题及其开发战略。

[关键词] 天然气水合物, 深海钻具, 保压保温取心, 开发战略

引言

固态天然气水合物被誉为 21 世纪的替代性能源。目前专家估算全球天然气水合物总资源量等于全球已探明化石燃料(煤、石油与天然气)资源总量的两倍, 而且分布范围广泛, 极有可能取代地球上日渐枯竭的其他化石燃料成为 21 世纪世界能源的主要来源之一。1 m³ 天然气水合物气化后等于 164 m³ 天然气和 0.8 m³ 的水, 因此一般意义上的天然气水合物矿藏大都可能等于大型超大型天然气田矿藏。在此意义上, 通过我国海域天然气水合物资源勘查实现发现突破, 对于改变我国东部地区的能源来源结构, 缓解能源供求矛盾, 具有与“西气东输”同等重要的战略意义。

据不完全统计, 目前, 已在 116 个国家及地区发现天然气水合物或其地质-地球物理异常标志, 其中已有 20 多处通过采样得到证实, 这些样品除了加拿大西北部永久冻土地带的麦肯齐河三角洲的 Mallik2L-38 井区以外, 其余全是 DSDP(深海钻探计划)与 ODP(大洋钻探计划)在深海底发现的成果^[1-5]。

形成于 250 m 水深以下的高压低温环境的深海天然气水合物冰结晶体实物样品在常温常压条件下

其稳定性是以分钟来计算的, 比如, 1999 年 7—9 月, 德国“太阳号”在著名的“水合物海脊”近 780 余米海底取获的天然气水合物样品, 上船 5 分钟内即融化。这样, 针对天然气水合物的取样保存分析方法及其配套技术体系的研究自然被提为议题, 围绕天然气水合物“原位”实物样品的获取、定量分析及保存等研究内容, 已成为天然气水合物资源勘查评价的基础科学问题之一。迄今为止, 包括技术体系、设备研制与工程作业等在内的, 在国外基本上限于 DSDP 与 ODP 的成果, 已形成了完整的技术系列, 并进入不断改进完善阶段; 在国内, 属于起步研究开发阶段。

1 DSDP 与 ODP 科学计划在钻采方面的成功实践与不足

为了获得海底天然气水合物岩心样品, DSDP 与 ODP 计划研制开发了专用的技术设备和配套工具, 以保证深海钻井和采集天然气水合物样品这一核心任务的实施^[6]。天然气水合物专门岩心样品采集器从 20 世纪 70 年代就提上了议事日程, 现在已经研制和开发成功天然气水合物保压取心器(PCS)与保压保温取心器(PTCS), 相关技术指标如下(表 1)。

本文受“863”天然气水合物探测技术 2001AA611020 课题资助。
本文于 2002 年 12 月 16 日收到。

表1 国外保压取心器(PCS)与保压保温取心器(PTCS)的主要技术指标

取心器	主要技术指标	天然气水合物取心历史
ODP-PCS	1. 自由下落式展开, 液压驱动, 岩心管长 1.8 m, 直径 92.2 mm; 2. 与 APC/XCB BHA 配合使用; 3. 保压 70 Mpa; 工作温度 -17.78 ~ +26.67℃	在 ODP124, 139, 141, 146, 164, 196 等航次使用
DSDP-PCB	1. 可取长 6 m, 直径 57.8 mm 岩心; 保压 ≤35 Mpa; 2. 机械驱动, 绳索提取, 与 RCB BHA 配合使用; 3. 不打开岩心筒可测量岩样压力和温度; 4. 球阀控制(调整需 2-5h)	在 DSDP42, 62, 76 航次中使用
日本-PTCS	1. 绳索下放与回收, 岩心直径 66 mm, 长 3 m; 2. 保压 30 Mpa, 利用氮气蓄压器控制压力; 3. 保温采用绝热型内管及热电式内管冷却方式; 4. 采用 219.1 mm 钻挺和 168.3 mm 钻杆	在马肯齐三角洲\日本石油公司柏崎实验场, “南海海槽”探井(取心率 37%—47%)中使用

ODP 的 PCS、DSDP 的 PCB(保压取心管)与日本的 PTCS 在实施天然气水合物岩心样品采集方面,取得了许多成功经验。至今,与 DSDP 与 ODP 的专用调查船配套的相关钻、采技术体系已经较为成熟;并在获得、证实天然气水合物矿藏的存在,资源潜力评估等方面发挥了关键性作用,产生了巨大的社会和经济效应^[7-9]。

以著名的 ODP 164 航次为例,由于 ODP 专用钻探船舶配套了 PCS 取心系列设备及支撑技术,因此成功取得了天然气水合物深海钻井近原位岩心(保真)样品采集—地球物理解释成果验证(主要是所谓 BSR 现象)—天然气水合物稳定带含矿品位定量求取—资源潜量评估—重大商业开发价值确定这样多位一体的突破性成果,在国际上影响较大。

ODP 164 航次是深海—大洋调查史上首次对天然气水合物成功实现系统保“真”取样和资源评估参数定量求取的航次,同时比较好地解决了调查区定位与钻探、样品采集、获取天然气水合物样品、船上资源定量评估参数求取的研究难题^[6],使深海天然气水合物含矿层位含甲烷资源的定量评估能够与油气资源评估工作相当,实现了准确评估参数取值,从而达到了静态描述“布莱克海脊”天然气水合物矿藏资源潜力进而启示全美天然气水合物资源评价的目的。由此,计算出“布莱克海脊”26 000km² 范围内天然气水合物与游离气资源总量 4×10^{16} g 或 35GT 碳,按照 1996 全美天然气消费量参照计算,可满足美国今后 105 年的需要^[8]。

当然, DSDP 与 ODP 的相关配套技术体系并非是完全成熟的,其中,孔隙水被海水污染在 ODP 操作中很普遍^[1];而且样品采集目前尚不能实现真正意义上的保“真”。即 PCS 欠缺保温功能。

2 着底式深海天然气水合物原位岩心样品钻采技术及其基本科学问题

DSDP 与 ODP 钻探是通过从专用船上连接几百到几千米的钻杆到海底,通过不同取心工具和相应高技术设备进行 500—1 000 余米的远程钻探来实现的。投入费用极其巨大。

将钻机固定在深海海底实现相关工程作业的设计是天然气水合物及其他钻探及样品采集的一种新途径,代表了一种新的思维、技术体系与科学方法;其实际价值可能真正表现在:对 ODP 与 DSDP 科学计划的高投入提出了挑战——以最小的花费完成尽可能多的工作。

目前利用这种技术在浅海海域施工已经不存在任何技术上的难题,但在深海尤其在目前要满足和达到针对天然气水合物进行成功钻、采的目的,实现以最小的花费完成尽可能多的工作的目标还有一定的差距。

目前,将钻具直接固定在深海海底的天然气水合物钻、采技术设备与实施作业研究在我国尚属空白,应当重视与重点研究如下科学问题,为研制和形成具有自主知识产权及实用价值的深海海底取心钻具(机)及其技术体系奠定基础:(1)固定在深海海底钻具的总体结构问题;(2)固定在深海海底钻具专用水密电机问题;(3)固定在深海海底钻具的动力系统问题;(4)固定在深海海底钻具的循环系统问题;(5)固定在深海海底钻具采集样品的保压功能问题;(6)固定在深海海底钻具采集样品的保温功能问题;(7)固定在深海海底钻具的流体力学问题;(8)固定在深海海底钻具的工程力学问题;(9)固定在深海海底钻具的钻采技术新方法与新理论;(10)固定在深海海底钻具在复杂环境下的稳定性问题;(11)固定在深海海底钻具在复杂环境下的施工工程学问题;(12)

固定在深海海底钻具可行性与可能性的仿真模拟问题。

3 深海天然气水合物原位岩心样品钻采工具与技术体系的发展战略

3.1 借鉴 DSDP 与 ODP 钻采技术体系与石油工业钻采技术体系,以实际需求为动力,实现跨越式发展与全方位突破

天然气水合物原位岩心样品钻采工具与技术体系的发展与进步是在 DSDP、ODP 技术体系基础上开始的,可追溯至上个世纪 70 年代。1979 年, Hunt 提出了开发研制 ODP 保压取心器(ODP-PCS)的技术思路。1983 年, Keith A. Kvenvolden 等开展的研制工作遭受失败。1995 年以后, Jerald Dickinson 等研制成功该型取心器,并首次将其成功地应用于“布莱克海脊”ODP-164、204 航次等的取样工作。该型保压取心器(PCS)因而被认为属于重大突破,相关资料和成果于 1997 年被 *Nature* 登载。由此可见,固定在深海海底的钻具技术体系的发展和进步也将会有一个过程。由于 ODP(ICDP)是一个开放的科学计划,我国已经在 1998 年成为它的成员,因此我们可以更加充分地借鉴其成功的实践经验。其中,ODP 的钻、采技术体系与石油工业钻、采技术体系的成熟经验应当并举,在实践中以实际需求为发展动力,才有可能实现跨越式发展,在各个科学问题上取得全方位突破。

3.2 加强国际合作,实现技术引进与技术合作,以形成具有我国自主知识产权的技术体系与产品

加强国际合作,学习国外的先进技术,是在强调自主知识产权技术体系与产品系列基础上的自然延伸。据了解,目前在德国有 6 位科学家正在进行保压取心器(PCS)保温性能的研究和新型取心器的研制,以求实现对 ODP 航次天然气水合物样品保温保压即真正意义上保“真”取样的地质要求。ODP-PTCS 的实现将会是驾轻就熟的。有鉴于此,开展中德技术合作的课题是现实的。可以提高我们的研究起点和研制层次,加快我们的研究进度,保证研究的方向和成功率,取得大跨度的、赶超世界先进水平的重大成果。

3.3 强强联合,促进和增强国家整体综合技术实力

的提高,实现专用调查船舶及其配套技术设备的大跨度技术进步

国家整体综合技术实力的提高是国家层面上的问题,包括核心技术设备的落后比如专用调查船舶及其配套技术设备体系的落后,已经极大地制约了相关整体工作的开展与技术进步。包括著名的“海洋四号”、“探宝号”、“科学一号”以及“向阳红号”、“东方红号”系列的深海调查船在内,目前国内几乎所有的海洋调查船舶均不能完全满足未来深海天然气水合物调查勘探开发作业的需要,即使是已经投入千万元以上完成改装的“大洋一号”远洋科学调查船,因为科学目标有所不同,所以目前也不能完全满足和达到天然气水合物钻、采作业的相关技术要求。

因此,只有较大规模的投入,才能较大程度地提高和增强国家整体综合技术实力的进步,才能真正实现专用调查船舶及其配套技术设备的大跨度跃进,包括强强联合及其相关战略思想的进步与开拓,将同时决定我国包括固定在深海海底天然气水合物钻采工具及其配套技术体系在内的深海调查船舶整体技术实力和科学体系的进步及其发展进程。

参 考 文 献

- [1] Ocean Drilling Program Texas A&M University. <http://www-odp.tamu.edu>, ODP 技术报告(10)[EB/OL].
- [2] Lee M W, Hutchinson D R, Dillon W P et al. Method of estimating the amount of in situ gas hydrates in deep marine sediments. *Marine and Petroleum Geology*, 10, 493—505.
- [3] Kvenvolden K A. Methane hydrate — A major reservoir of carbon in the shallow geosphere? *Chemical Geology*, 1988, 71:41—51.
- [4] Alexei V Milkov, Roger Sassen. Estimate of gas hydrate resource, north-western Gulf of Mexico continental slope, 2001, *Marine Geology*, 179: 71—83.
- [5] Mikio Satoh. Distribution and resources of marine natural gas hydrates around Japan, 2000, Western Pacific Geophysics Meeting.
- [6] Gerald R Dickens, Charles K Paull. Paul Wallace & the ODP Leg 164 Scientific Party. Direct measurement of in situ methane quantities in a large gas-hydrate reservoir. *Nature*, 1997, 385:426—428.
- [7] 李常茂, 耿瑞伦. 关于天然气水合物钻探的思考, *探矿工程*, 2000, (3):5—8.
- [8] 许红, 刘守全, 王剑桥等. 国际天然气水合物资源潜力评估状况与储量估算, *地球科学*, 2001, 10:6—10.
- [9] 蒋国盛, 王荣懋, 黎忠文等. 天然气水合物的钻进过程控制和取样技术, *探矿工程*, 2001, (3):5—8.

SCIENTIFIC PROBLEMS AND THEIR DEVELOPMENT STRATEGY OF GAS HYDRATE CORING-DRILLING TOOLS DIRECT FIXED IN DEEP-SEA BOTTOM

Xu Hong^{1,2} Wu Lin³ Hu Jingdong⁴ Zhang Zhuo⁵ Zhuang Xunhua¹ Luo Yougao⁴
 Xiong Jun⁴ Cai Qianhuang⁵ Yan Guijing¹ Sun Heqing¹ Hu Sanhua⁴ Li Chuen¹
 Zhang Yi⁴ Gong Jianming¹ Xing Jiben⁴ Cui Luyong¹ Bai Lan⁴ Li Gang¹

(1 Qingdao Institute of Marine Geology, Ministry of Land and Resources, Qingdao 266071; 2 China Geosciences University, Beijing 100083;

3 China Geological Survey, Beijing 100083; 4 Wuhan Second Ship and Design Research Institute, Wuhan 430064;

5 Department of Engineering Mechanics, Tsinghua University, Beijing 100084)

Abstract Based on a lot of data collected and surrounding, the topic of resources investigation and the finding of gas hydrate, the successful practices and their shortages of ODP、DSDP and “Solar” in deep-sea drilling-coring are discussed. Then the article puts forward the basic scientific problems of gas hydrate drilling-coring tools of direct fixed in deep-sea bottom, and three advices of their development strategy.

Key words gas hydrate, drilling-coring tools of direct fixed in deep-sea bottom, pressure-temperature coring, science problems, development strategy

·资料·信息·

“九五”重大基金项目“并行处理与面向地学分析的高分辨率时实成像”通过专家验收

2002年12月由中国科学院计算技术研究所、中国科学院软件研究所和中国科学院地理科学与资源研究所共同承担的“并行处理与面向地学分析的高分辨率时实成像”重大科学基金项目通过了验收。

验收专家组听取了项目组的总结报告和5个课题的学术报告,并经过认真讨论后认为:

本项目将合成孔径雷达实时成像和地理信息系统相结合,有效地提高了突发性自然灾害应急评估的速度和精度,对国民经济和社会发展有重要意义;该重大科学基金项目经过4年的研究,取得了可喜的成绩,除了已发表了数十篇高质量论文外,还研制了一个具有自主知识产权的高速并行面向地学分析的合成孔径雷达实时成像处理系统;授权发明专利1项,受理发明专利8项,实用新型专利2项,获准

软件著作权登记5项;通过该项目的研究,吸引、锻炼和培养了一批优秀的青年业务骨干,建立和形成了一支跨学科的合作研究队伍。

专家验收组一致认为:该项目达到并超额完成了项目任务书中规定的研究任务,取得了重大进展,成果总体上达到了国际先进水平,使我国对突发性自然灾害应急评估的可信度的反应时间提高到一个新的水平。实践证明,通过本项目的立项研究,围绕具有挑战性的应用目标,组织计算机、电子学、地学等多学科的联合,开展并行处理、实时系统、合成孔径雷达成像和地学分析等多学科的交叉研究,是行之有效的。

(信息科学部 供稿)