

天然气水合物研究现状与展望

宋召军¹, 刘立²

(1. 中国科学院海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130026)

[摘要] 自 20 世纪 90 年代以来, 世界各国对潜力巨大的新型能源——天然气水合物的研究做了大量的投入, 已经取得了重大进展。本文在阐述国外天然气水合物的研究现状的同时, 重点介绍了我国在天然气水合物勘探开发和实验模拟方面取得的一些进展, 并展望其在能源、环境和其它研究领域的发展前景。

[关键词] 天然气水合物; 勘探开发; 实验模拟; 能源; 环境

[中图分类号] P618.13 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1001-2427 (2003) 04-0064-05

自 20 世纪 60 年代以来, 人们陆续在冻土带和海洋深处发现天然气水合物。由于天然气水合物是巨大的潜在能源, 及其对人类生存环境及海底工程设施的灾害影响, 正日益引起科学家和世界各国政府的关注。为此, 本文综述了天然气水合物的研究现状, 并展望其在能源、环境和其它研究领域的发展前景。

1 天然气水合物及其生成条件

天然气水合物 (Natural Gas Hydrates), 又称笼形水合物 (Clathrate), 是由水和天然气组成类冰的、非化学计量的、笼形结晶化合物, 遇火可燃烧。组成天然气的成分有烃类 (CH_4 、 C_2H_6 、 C_3H_8 、 C_4H_{10} 等同系物) 及非烃类气体 (CO_2 、 N_2 、 H_2S 等), 这些气体赋存于水分子笼形格架内。由于形成天然气水合物的气体主要为甲烷, 因而对甲烷分子质量分数超过 99% 的天然气水合物通常称为甲烷水合物 (Methane Hydrate)。

天然气水合物的形成一般需要具备 3 个条件: ①低温 ($0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ 土)、高压 ($> 10\text{Mpa}$) 条件; ②充足的烃类气体连续补给和水的供应; ③足够的生长空间^[1]。全球约有 27% 的陆地和 90% 的大洋水域成为存在天然气水合物的潜在区域。已发现的天然气水合物主要分布在高纬度地区的极地冻土带及全球范围内的深海海底、陆坡、陆基及海沟中。

2 国外天然气水合物的研究现状

由于当前化石燃料 (包括煤、石油与天然气), 特别是其中的石油和天然气能源的短缺, 使人们对天然气水合物这种高效潜在能源格外关注, 自 20 世纪 90 年代以来, 世界各国对潜力巨大的新型能源——天然气水合物的研究做了大量投入, 已经取得了重大进展。

1995 年, 美国在海上钻井平台 (简称 ODP) 第 164 航次中, 率先在布莱克海脊布设了 3 口勘探井, 首次有计划地取得了天然气水合物样品。美国参议院委员会在 1998 年 5 月一致通过 1418 号议案——“天然气水合物研究与资源开发计划”。把天然气水合物资源作为国家发展的战略能源列入长远计划, 决定批准用于天然气水合物资源研究开发的每年

[收稿日期] 2003-01-12; **[修订日期]** 2003-10-20

[作者简介] 宋召军, (1976-), 男, 黑龙江木兰人, 硕士研究生, 海洋地质学专业。

投入为 2 000 万美元, 计划到 2015 年实现商业性开采。2002 年 4 月, 在圣彼德堡召开的国际海洋矿产会议上, 美国地质调查局的 W. J. Wintres 展示的天然气水合物和沉积物试验实验室装置 (简称 GHASTLI) 代表了当前天然气水合物模拟实验的最高水平, 正在进行的是自然界和实验室形成的天然气水合物- 沉积物的物理性质的研究。

日本是个资源贫乏且能源消费大国, 因而多年来对天然气水合物的勘探开发、研究和实验等方面进行了相当大的投入, 并在其各领域取得领先的水平。1995 年日本专门成立了甲烷水合物开发促进委员会, 对勘察天然气水合物的相关技术进行深入研究, 并指定了研究开发的“五年计划”(1995—1999 年), 在 5 年内投入 150 亿日元, 并于 1997 年与美国、加拿大合作在阿拉斯加打了 1 口示范井, 1999 年之后在日本南海海槽打了 6 口勘探井。据 2002 年 3 月 22 日《石油商报》报道, 日本在加拿大西北部进行的开采天然气水合物实验已获得成功, 并将在今后 10 年开发实用技术, 用于近海海底天然气水合物的开采。目前, 以日本为主导的在加拿大麦肯齐三角洲钻探了天然气水合物井——“Mallik 2L-38”井, 证实在永久冻土带下面存在天然气水合物。此外, 印度、韩国、俄罗斯、加拿大、德国、墨西哥等国也对天然气水合物进行了调查和研究, 并取得了许多成果。

3 我国对天然气水合物的研究

我国于 20 世纪 80 年代末开始关注天然气水合物, 并对国外资料进行收集整理。90 年代以来, 我国的天然气水合物研究工作进入到海上实际区域调查和实验模拟阶段。

目前, 进行天然气水合物勘探研究的主要方法是地球物理方法。由于天然气水合物存在的一个重要地震特征是具有因天然气水合物胶结沉积物层造成的速度异常而显示的似海底反射层 (Bottom Simulating Reflection, 缩写为 BSR)。在地震剖面中, BSR 一般呈现出高振幅、负极性、平行于海底和与活动沉积构造相交的特征, 极易识别。BSR 随水深的增加而增加, 随地热梯度的变化而变化。随着多道反射地震技术的普遍采用, BSR 现象在地震剖面上更为明显。一般来说, BSR 之上为天然气水合物稳定带, BSR 以下则可能存在游离气体。同时通过深海钻探已证明这些具有 BSR 的地层确实存在天然气水合物。因而可利用 BSR 来识别天然气水合物并圈定其范围。我国在东海和南海陆坡开展的天然气水合物调查评价, 已发现了大面积分布的天然气水合物可能存在的地球物理标志 BSR。2000 年, 广州海洋地质调查局在我国南海至少 130km 的地震剖面上识别出了天然气水合物矿藏的显示标志 BSR, 探明矿层厚达 80~300m。专家估算这一地区天然气水合物总资源量达到 643.5~772.2 亿 t 油当量, 约相当于我国陆上和近海石油天然气总资源量的二分之一。据 2001 年 6 月 1 日《石油商报》报道, 南海天然气水合物矿床较厚, 有水合物显示的 130km 多道地震测量剖面上发现矿层显示厚度 80~300m。

开展天然气水合物实验模拟技术的研究, 可以了解天然气水合物的形成、富集和赋存条件及其成分和性质, 为指导勘探开发和资源评价提供基础参数。目前, 国土资源部青岛海洋地质研究所建立了国内首个具有多种检测手段的海洋天然气水合物模拟实验室。初步建立了海洋天然气水合物模拟实验室。并在多个领域内有所创新。该实验室利用 1 000ml 的高压釜, 3 次成功地合成出天然气水合物, 并取出和点燃。实验室还利用光通率的变化进行了甲烷在纯水中压力 (P) - 温度 (T) 条件的试验, 并与国内外文献取得了满意的对比结果。现在实验室正在进行沉积物中天然气水合物生成和分解模拟实验, 利用超声和

电阻法探测沉积物中天然气水合物的生成和分解,拟进行“粗”颗粒和“细”颗粒组分及纯水和海水中天然气水合物生成P-T平衡条件实验,研究不同组分的差异,初步预测出何种组分更具生成水合物的条件。该实验室在国内首次使用钛钢制作高压釜用于海洋天然气水合物模拟实验研究,提高了釜体的抗高压和耐腐蚀能力,首次研制成功与钢制高压釜配套的光纤自供光摄像装置,提供了实时观察釜内反应的能力,首次使用光强透射比测试系统确定天然气水合物的合成与分解,提高了研究水平。在国际上首次应用声衰减谱的方法测定松散沉积物中天然气水合物的生成和分解,该项技术在声衰减谱的应用方面居国际领先水平。此外,石油大学、大庆石油开发研究院等单位在天然气水合物的实验模拟技术和管道中天然气水合物的探测和清除技术研究方面,如实验装置、热力学及动力学模型、气体混合物分离的研究、水合物动力学抑制剂的合成等研究已取得一些重要成果^[2]。

针对国外天然气水合物的研究动态,一些有远见卓识的科学家提出我国天然气水合物研究的科学目标应包括^[2]: ①建立天然气水合物基础理论体系; ②建立天然气水合物资源评价体系; ③开发天然气水合物勘探、识别技术; ④定量评价天然气水合物在全球碳循环和全球气候变化中的作用; ⑤发展商业生产天然气水合物的技术与工艺; ⑥发展天然气水合物安全生产的工程技术和海底灾害预警与防治技术体系。

4 前景展望

4.1 天然气水合物将是本世纪最具潜力的新能源

随着石油、煤等传统型能源的日益枯竭,人们对环保型能源需求的不断加大,天然气水合物必然会成为本世纪潜能巨大的烃类能源。天然气水合物具有高度浓缩性,在理论上每立方米的甲烷水合物可分解释放 164m^3 的甲烷气体和 0.8m^3 的水^[3];实际上,若考虑到水分子笼形格架中适合甲烷水分子存在的位置有可能空缺或被其它气体占据,每立方天然气水合物可释放约 150m^3 的甲烷,可见其能量密度非常高。目前,在(不包括中国)海洋及大陆(冻土带)地层中已探明的天然气水合物储量相当于全球传统化石能源(煤、石油、天然气等)储量的两倍左右^[4],总资源量约为 $(1.8\sim 2.1)\times 10^{16}\text{m}^3$ 。迄今为止,天然气水合物已经成为最有价值最具潜力的海底矿产资源。因此,许多学者预言,天然气水合物在本世纪内极可能代替传统化石能源成为第4代能源。

4.2 天然气水合物的环境效应

由于天然气水合物有巨大的能源前景,加之当今科学技术的高度发展,开发天然气水合物已成为一种必然趋势。然而是否能对其进行安全开发,使之不会导致甲烷气体的泄露,产生温室效应,引起全球变暖,诱发海底地质灾害,将是天然气水合物研究的重要内容之一。据Kvenvolden^[5]保守估计:全球天然气水合物中的含碳量为 $1\times 10^{14}\text{Gt}$,这个数量相当于全球常规固体燃料中总含碳量的两倍;它的含碳量超过全球所有其它来源有机碳的总和。天然气水合物无疑是地球浅部的一个极为重要的碳库^[1]。若自然界的温压条件发生微小的变化,就会引起天然气水合物的形成和分解,形成和释放甲烷。由于地球浅部天然气水合物蕴藏量巨大,其甲烷的吞吐量也极大;因此,天然气水合物对全球碳循环产生重要影响。大气中的甲烷浓度仅是 CO_2 的5%,但对温室效应的影响却占15%,从而可知甲烷的温室效应是 CO_2 的20倍,因此,甲烷是一种重要的温室气体。若天然气水合物得不到合理的开采,造成天然气水合物分解,使大量甲烷释放,进入大气,将会引起严重

的温室效应, 并可能加剧全球变暖, 引起海平面上升。MarDonald^[6]指出, 倘若将近海和滨海地区天然气水合物中圈闭着的3 000倍于大气中的甲烷全部释放出来, 将会给全球气候带来灾难性的后果。因而在进行天然气水合物勘探开发的同时, 一定要注意其造成的环境效应, 防患于未然。

若天然气水合物稳定存在所需的温度和压力平衡条件遭到破坏, 就会使天然气水合物自然分解, 诱发海底地质灾害。20世纪90年代在巴西北东部大陆边缘的亚马逊扇^[7]及日本海Okushiri岛附近^[8]等海域发现了由水合物分解引起的海底滑塌、滑坡和浊流作用。目前对此较为一致的认识是^[9], 这些海底地质灾害可能是由海平面升降、海啸和地震导致水合物分解而引起的, 而水合物分解产生的滑塌、滑坡和浊流则可能进一步引发新的地震和海啸。这些海底地质灾害会对海底电缆、通讯光缆、钻井平台、采油设备等海底工程装置造成威胁或破坏, 甚至可波及沿岸的建筑等, 影响航行安全和人民的生命财产。因此, 研究天然气水合物分解诱发的地质灾害将是摆在众多研究人员面前的一个重要课题。

4.3 在其它领域的应用前景

研究天然气水合物的形成机理及释放原理, 在其它领域也具有广泛的应用前景^[10]。由于成本高, 安全性差, 天然气长距离输送一直是个难题。若将天然气先转化为水合物, 在固态下输送, 就可达到经济安全之目的。据报道, 挪威已成功地开发了在 -15°C 和常压下的水合物状态输送天然气的技术, 成本较之低温液化输送减少24%。为了满足环保型天然气汽车的需求, 美国正在试验将天然气转变为水合物(其平衡压力仅为4 MPa)作为车用燃料。甲烷是高强度的温室气体, 若一旦地层中的甲烷水合物分解, 将会给全球气候带来严重影响。但若利用气体水合物的形成机理, 也可改善环境保护做出贡献。美国和日本均在研究将工业废气中的 CO_2 赋集后使之在海底(温度 $2^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$)形成水合物。由于 CO_2 水合物的比重比海水大, 因而可以将其设法永久弃于海底。此外, 仿天然气水合物结构还可以研究开发一些与工业、民生甚至航天有关的新技术。例如, ①基于水合物的分离技术、海水淡化技术等; ②自动制冷饮料; ③材料合成与制备等。同时, 天然气水合物能源技术的发展还将有力带动油气藏地质学、物理化学、计算数学、能源科学等相关基础学科前沿领域的发展。

由此可见, 天然气水合物具有广阔的资源前景和应用前景。今后的发展趋势将是地质学、地球物理和地球化学等多种学科相互结合, 进一步认清天然气水合物形成的控制因素及其分布规律, 较准确的估算其资源量, 减少天然气水合物分解和开采带来的地质灾害和环境效应, 最终合理开发利用这一潜在的巨大资源。

参 考 文 献

- [1] 陈汉宗, 周蒂. 天然气水合物与全球变化研究[J]. 地球科学进展, 1997, 12(1): 37-41.
- [2] 赵生才. 天然气水合物研究现状及我国对策[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 461-464.
- [3] Kvenvolden, K. A., Gas hydrate—geological perspective and global change [J]. Review of Geophysics, 31, 1993. 173-187.
- [4] Kvenvolden, K. A., A review of geochemistry of methane in nature gas hydrates [J]. Organic Geochemistry, 1995, 23(11/12): 997-1008.
- [5] Dillon, W. P., Paull, C. K., Marine gas hydrates II: geophysical evidence. In: Cox, L. Ed., Natural Gas Hydrates, Properties, Occurrence, Recovery [J]. Butterworth,

Woburn, M. A. , 1983, 73-90.

[6] Macdonald, G. T. , The future of methane as an energy resource [J] . Annual Review of Energy, 1990, 15: 54-56.

[7] Maslin, M. , Mikkelsen, N. , Vilela, C. , et al. Sea- level and gas hydrate- controlled catastrophic sediment failures of the Amazon Fan [J] . Geology, 1998, 26 (12) : 1207-1210

[8] Takeuchi, A. , Bottom response to a tsunami earthquake: Submersible observations in the epicenter area of the 1993 earthquake off southwestern Hokkaido, Sea of Japan [J] . Journal of Geophysical Research, 1998, 103 (B10) : 24109-24125

[9] 赵省民. 天然气水合物的新进展 [J] . 海洋地质与第四纪地质,

[10] 陈 勇. 天然气水合物的研究现状与发展趋势 [J] . 中国科学院院刊,

The present situation on research and prospect of the natural gas hydrate

SONG Zhaojun¹, LIU Li²

(1. Qingdao Institute of Marine Geology, Chinese Academy of Science, Qingdao 266071, China;
2. Institute of the Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130026, China)

[Abstract] Since the 90' s of 20 centuries, the scientists have begun to focus intense international interest on natural gas hydrate because of its huge potential role as the green energy resources, and achieved a great success. The present situation on search of natural gas hydrates is presented in the aspects of geologic research, exploitation and experimental simulation, and the prospect in the future is expected.

[Key words] natural gas hydrate; exploration and development; experimental simulation; energy resource; environment