

天然气水合物资源勘探开发技术研究进展*

武全萍, 刘力健

(天津理工大学 热能工程系, 天津 300384)

摘 要: 天然气水合物储量巨大, 是人类理想的潜在的替代能源。对世界天然气水合物资源基本特征和分布情况进行了介绍, 对国内外天然气水合物勘探开发技术以及环境效应进行了阐述。

关键词: 天然气水合物; 勘探; 开发

中图分类号: P 744.4 文献标识码: A 文章编号: 1008 0511(2010) 04-0058-05

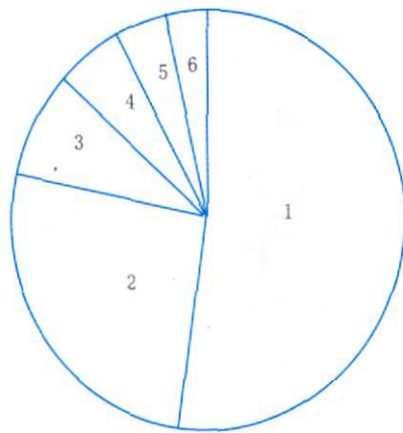
目前在世界一次能源供应总量中, 煤炭、石油、天然气三者总和约占 80% 左右, 但这类常规矿物能源不可再生, 随着人类不断的开发和利用, 储量越来越少, 最终将会枯竭^[1]。天然气水合物是地球上尚未开发的巨大能源库, 作为一种优质、洁净能源已经成为当代能源资源产业研究发展的热点, 因此, 对天然气水合物的研究和有效开发利用也成为了我国可持续发展战略的内容之一。

天然气水合物(Natural gas hydrate, NGH)是一种笼形结晶化合物^[2], 是以甲烷为主的气态烃类物质和水作用生成的冰晶状化合物。它的外观很像冰雪或固体酒精, 点火即可燃烧, 因此有人称之为“可燃冰”、“气冰”、“固体瓦斯”。在标准状态下, 每 m^3 的天然气水合物可释放出 164 m^3 甲烷^[3], 它是继煤、石油和天然气等能源之后的一种潜在的新型能源, 主要存在于陆地上的永久冻土带和大陆边缘的海底砂砾中。

1 天然气水合物资源分布

地球上的天然气水合物蕴藏量非常丰富, 大约 27% 的陆地和 90% 的海域都含有天然气水合物, 主要存在于板块聚合边缘大陆坡、离散边缘大陆坡、边缘海和内陆海, 尤其是与泥火山、盐泥底辟及大型断裂构造有关的深海盆地中。

目前各国科学家对全球天然气水合物资源储量较为一致的评价为 $2 \times 10^{16} \text{ m}^3$, 是剩余天然气储量($156 \times 10^{14} \text{ m}^3$) 的 136 倍^[4], 如果将该储量折算为地球上的有机碳资源, 其有机碳约占全球有机碳的 53.3%, 是煤、石油和天然气总碳量的 2 倍, 见图 1^[5]。据资料统计, 全球已经累计发现超过 220 个天然气水合物矿点^[6]。

单位: 10^{15} kg 碳

1- 天然气水合物, 10 000; 2- 化石燃料, 5 000; 3- 土壤, 1 400;
4- 水中溶解的有机物, 980; 5- 陆地生物, 830; 6- 其它, 567

图 1 地球有机碳的分布

1.1 天然气水合物在陆地中的分布

陆地上的天然气水合物主要存在于 130~2000 $\text{m}^{[7]}$ 深处, 温度很低的高纬度陆地(永久冻土带)和大陆架是最可能形成天然气水合物的区域。目前在陆地 38 处冻土区发现了天然气水合物^[8], 已经通过测井及取样的有阿拉斯加北坡、加

收稿日期: 2010-04-25

作者简介: 武全萍(1972-), 女, 山西孝义人, 天津理工大学工程师, 研究方向为新能源开发与利用。

* 基金项目: 天津市自然科学基金重点资助项目(09JCZDJC24400)。

拿大、马更些三角洲、俄罗斯麦索雅哈、中国青藏高原冻土带等。

1.2 海洋中的分布

海洋中天然气水合物广泛分布于 200~600 m 的深度内, 世界海洋区域内有 88 处直接或间接发现了天然气水合物^[9], 目前已调查发现并圈定有天然气水合物的地区主要分布在西太平洋海域的白令海、鄂霍茨克海、千岛海沟、冲绳海槽、日本海、四国海槽、南海海槽、苏拉威西海、新西兰北岛; 东太平洋海域的中美海槽、北加利福尼亚—俄勒冈滨外、秘鲁海槽; 大西洋海域的美国东海岸外布莱克海台、墨西哥湾、加勒比海、南美东海岸外陆缘、非洲西海岸海域; 印度洋的阿曼海湾; 北极的巴伦支海和波弗特海; 南极的罗斯海和威德尔海, 以及黑海与里海等。我国海洋中的天然气水合物主要分布在南海和东海海域。

2 天然气水合物开发技术与方法

天然气水合物开采的基本原理是通过改变水合物稳定存在的低温高压条件, 促使水合物分解, 从而达到开采的目的。目前, 国内外常见的天然气水合物开采技术主要包括: 加热开采法、降压开采法、化学剂开采法、CO₂ 置换开采法以及多种开采方式相结合的方法。

2.1 加热开采法

加热开采法是将蒸汽、热水、热盐水或其它热流体从地面泵入到水合物地层, 使温度上升, 促使水合物分解而形成天然气的开采方法; 也可选择开采重油时使用的火驱法或利用钻柱加热器, 使水合物温度升高, 进一步发生分解。热开采技术的主要不足之处是会造成大量的热损失, 致使效率很低。特别是在永久冻土区, 即使利用绝热管道, 永冻层也会降低传递给水合物储层的有效热量。为此, 人们尝试直接在井下加热, 如采用井下电磁或微波直接加热, 可使采收率显著提高。

2.2 降压开采法

降压开采法是通过降低压力而使天然气水合物稳定的相平衡曲线移动, 从而促使水合物分解, 一般是在水合物层之下的游离气聚集层中“降低”天然气压力或形成一个天然气空腔(可通过加热法或化学剂法作用人为形成), 使与天然气接触的

水合物变得不稳定而分解为天然气和水。减压法最大的特点是不需要昂贵的连续激发, 因而可能成为今后大规模开采天然气水合物的有效方法之一。当水合物层下面存在自由气藏时, 降压开采是最有效的方法。

2.3 化学剂开采法

某些化学剂, 如盐水、甲醇、乙醇、乙二醇、丙三醇等可以改变水合物形成的相平衡条件, 降低水合物的稳定温度, 促使水合物分解。化学剂开采法与加热法相比作用较慢、费用也高, 且由于海洋中水合物的压力较高, 回采气体比较困难。

2.4 CO₂ 置换开采法

天然气水合物所需的稳定压力较 CO₂ 高, 在某一压力条件下, 天然气水合物不稳定, 而 CO₂ 水合物却是稳定的, 这时 CO₂ 进入到天然气中, 通过形成 CO₂ 水合物所释放的热量来分解天然气水合物, 上述即为 CO₂ 置换法的原理。

2.5 综合方法

单独采用某一天然气水合物的开采方法显然是不经济的, 只有结合不同方法的优点才能达到对水合物的有效开采。如将降压法和加热开采技术结合使用, 即先用加热法分解天然气水合物, 后用降压法提取分解后的游离气体。

3 国内外天然气水合物勘探开发状况

由于天然气水合物分布在永久冻土区和深水区, 复杂的地质条件和艰苦的地理环境使得这种资源的开发困难重重。天然气水合物的勘探开发技术是多门类的综合学科, 它也是当今各国学者研究的前沿课题之一。

3.1 国外天然气水合物勘探开发状况

自从 20 世纪 60 年代俄罗斯在麦索雅哈气田发现天然气水合物以来, 世界上多个国家和地区都发现了天然气水合物的实物样品。研究天然气水合物资源储量及勘探开发技术的国家主要有美国、英国、德国、加拿大、俄罗斯、日本、印度、韩国、中国等。各个国家在过去的 30 多年里都相继投入了大量的资金进行天然气水合物的结构、热动力学、环境效应、开采技术等方面的研究。

俄罗斯西伯利亚麦索雅哈是目前世界上唯一的一个水合物商业化开采井, 自从 1968 年开始试采

以来,利用降压和注入抑制剂的方法已经连续生产多年^[10]。

一个由日本、加拿大、德国、印度和美国研究机构参予的团体,在加拿大 Mallik 地区开展了 10 多年的天然气水合物研究项目。2002 年 2 月 27 日~3 月 10 日,采用循环注热水法,对 Mallik 2L-38 井进行第一次开采实验,5 d 时间里产出约 470 m³ 气,从技术上证明了加热法开采天然气水合物的可行性,为 2004 年日本在南海海槽钻探 16 个水合物钻孔提供了技术上的支持。2007 年 4 月,日本和加拿大再次合作对 Mallik 2L-38 井进行第二次开采实验,首次通过降压法从含天然气水合物沉积层中产生天然气,最成功的 12.5 h 的 830 m³ 开采量超过了 2002 年 5 d 的天然气产量。2008 年 3 月在同一位置进行了较长时间的天然气水合物开发实验,连续 6 d (139 h) 的开发,天然气累计产量达到 13 000 m³^[11],开采试验经验和所得数据能够为 2017 年日本进行海域天然气水合物商业开发提供技术储备^[12]。

日本国内缺乏常规油气资源,因此对海洋天然气水合物的开发寄与厚望。日本投入巨资设立国家计划,组织大量的科研机构积极开展海洋天然气水合物的研究勘探工作,并积极开展国际合作,取得了令人瞩目的成就,为实现商业开采天然气水合物奠定了技术基础。相关统计数据表明,日本目前是世界上天然气水合物探明储量较多的国家之一,大约为 7.4×10^6 m³,天然气水合物埋藏范围广泛,几乎遍及从北海道到冲绳的海域^[9]。

此外,美国、印度、韩国也都启动了天然气水合物研究计划,投入巨大的资金与人力进行天然气水合物的勘探与开发工作。

3.2 我国天然气水合物资源勘探开发状况

我国对天然气水合物的研究起步较晚,但近年来发展迅速。由于天然气水合物资源对我国能源战略具有极端重要性,1998 年 6 月,中国科学院科技政策局组织召开了“我国 21 世纪能源科学发展战略思考研讨会”。国家能源部被授权组织有关政府部门、国家实验室、国家自然科学基金委、石油天然气公司和相关大学进行攻关,将“天然气水合物的研究”列为国家研究开发计划,进行资源勘探、开采和运输的研究。国土资源部、中国

科学院兰州冰川冻土研究所、中国科学院广州能源研究所等科研机构对青藏高原永久冻土区、南海水域进行了多年的调查研究^[13],初步勘查表明,我国是世界冻土第三大国,尤其青藏高原是多年冻土区,极有可能埋藏着丰富的天然气水合物,我国许多海域也具有天然气水合物形成的条件。2001 年 2 月,我国召开了主题为“天然气水合物研究现状及对策”讨论会,2002 年启动了天然气水合物资源调查项目,同年还启动了“863 计划”关于水合物资源调查关键技术研究项目。2006 年 12 月启动了“863 计划”勘探开发关键技术研究重大专项^[8]。

2007 年 5 月,在国土资源部统一组织下,中国海洋地质调查部门在南海北部神狐海域成功钻探取样获得天然气水合物实物样品,我国也因此成为继美国、日本、印度之后第四个通过国家级研发计划采到水合物实物样品的国家。与世界已发现的天然气水合物相比,我国发现的天然气水合物纯度很高,燃烧后几乎没有污染,不含杂质的 1 m³ 天然气水合物可以转化为 164 m³ 的天然气和 0.8 m³ 的水。探测表明,仅南海北部深水区的天然气水合物储量就已经达到了 185 亿 t 油当量。^[14]为此,我国天然气水合物海域勘探研究的首要目标是在南海北部尽快发现具有开采价值的天然气水合物矿藏。2008 年 11 月,国土资源部在青海省祁连山南缘永久冻土带(青海省天峻县木里镇,海拔 4 062 米)成功钻获天然气水合物实物样品;2009 年 6 月继续钻探,获得宝贵的实物样品,并对样品进行了室内鉴定,获得一系列原始数据。我国首次在陆域发现天然气水合物,使我国成为世界上第一次在中低纬度冻土区发现天然气水合物的国家,也是继加拿大 1992 年在北美麦肯齐三角洲、美国 2007 年在阿拉斯加北坡通过国家计划钻探发现天然气水合物之后,在陆域通过钻探获得天然气水合物样品的第三个国家。我国是世界上第三冻土大国,冻土区总面积达 215 万平方公里,具备良好的天然气水合物赋存条件和资源前景。据科学家初略估算,远景资源量至少有 350 亿 t 油当量。这一重大突破,证明了我国冻土区存在丰富的天然气水合物资源,对认识天然气水合物成藏规律、寻找新能源具有重大意义。

4 天然气水合物对环境的影响

全球天然气水合物资源储量巨大, 对各国的能源战略具有重大意义, 但它的开发利用与海洋地质灾害和全球气候关系密切。因此, 世界各国对此应持有谨慎态度, 在研究它的资源前景的同时, 要提出超前的防范措施, 以防止天然气水合物开发利用对环境造成不良的影响。

4.1 天然气水合物与全球气候变化的关系

天然气水合物蕴藏量极大, 其主要成分甲烷的比例也很高, 是全球碳循环中的重要环节, 在岩石圈与水圈、气圈的碳交换中起重要作用。甲烷是大气中重要的微量组分之一, 与二氧化碳相同, 它也是一种“温室气体”, 但它的温室效应是二氧化碳的 21 倍。大陆和海洋天然气水合物中的甲烷量大约是大气中甲烷量的 3 000 倍。在自然界, 压力和温度微小的变化都会引起天然气水合物的分解, 天然气水合物在开采过程中随着压力、温度的变化必然会造成部分水合物的分解并释放到大气中去, 由此会进一步加剧全球的温室效应, 地球温度受温室效应影响而不断上升, 则又会引起陆地永久冻土区或海底的天然气水合物自动分解, 如此一来必然会造成恶性循环, 严重影响全球的气候条件^[15]。

4.2 天然气水合物与海洋地质灾害的关系

天然气水合物是造成海洋地质灾害的原因之一, 主要表现在天然气水合物自然分解引起的地质灾害和勘探开采引起天然气水合物分解造成的环境破坏。海平面升降、地震和海啸会导致水合物分解, 而水合物分解产生的滑坡、崩塌等现象则又可能进一步引发新的地震和海啸, 对海底电缆、通讯光缆、钻井平台、采油设备等工程设施造成威胁或破坏, 甚至波及沿岸的建筑物, 危害航行安全和人们生命财产安全^[16]。世界上最大的海底滑坡——挪威海岸的 Storage 滑坡, 造成了 290 m 长的陡壁断崖, 它的首次滑坡大约释放了 5×10^{12} kg 甲烷^[17], 而该处的第 2 次滑坡 Bouriak 等认为则是由天然气水合物的分解所引起^[18]。有学者认为百慕大死亡三角区发生的灾难很可能与该处海底蕴藏的储量巨大的天然气水合物有关^[19]。

4.3 天然气水合物与海洋生态的关系

海洋中许多生物需要从海水中吸取氧气, 以

此维持生命。如果在天然气水合物的开发过程中向海洋排放大量甲烷气体, 则会破坏海洋中的生态平衡。在海水中甲烷气体会通过微生物的氧化作用($\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$), 使得海水中的氧气降低, 影响海洋生物的活动, 甚至造成海洋生物灭绝, 另一方面还会使得二氧化碳增加, 造成生物礁退化, 致使海洋生态平衡遭到破坏。还有学者认为, 水合物分解引起的地质灾害也会导致海底生态环境恶化而殃及海洋生物^[20]。

5 结束语

可持续发展离不开能源, 失去了能源的持续供给, 人类社会将难以为继。天然气水合物资源的发现给身处能源危机困扰的人类带来很大的期望, 丰富的储量使得天然气水合物成为 21 世纪石油天然气能源的理想替代资源。我国广阔的海域和永久冻土区都有着巨大的天然气水合物资源前景, 但鉴于天然气水合物对全球气候和海洋地质的影响, 我们在对它进行勘探、开采研究的同时更应该加强国际合作, 有效获取国外科学技术信息, 积极探讨天然气水合物对我国能源安全的可能贡献, 谨慎求证天然气水合物在能源替代中的作用, 对它所带来的地质灾害、温室效应以及对海洋生态的影响进行充分研究, 以促进我国资源开发利用与环境保护的协调发展。

[参 考 文 献]

- [1] 周伟国, 马国彬. 能源工程管理[M]. 上海: 同济大学出版社, 2007.
- [2] Beno t Beauchamp. Natural gas hydrates: myths, facts and issues[J]. Comptes Rendus Geoscience, 2004, 336(9): 751 ~ 765.
- [3] R E Pellenbarg, M D Max. Introduction, physical properties, and natural occurrences of hydrates[A]. M D Max Natural gas hydrate in oceanic and permafrost environments [C]. Dordrecht: Kluwer Academic, 2000, 1~ 8.
- [4] 赖枫鹏, 李治平. 天然气水合物勘探开发技术研究进展[J]. 中外能源, 2007, 12(5): 28~ 32.
- [5] Sang Yong Lee, Gerald D H Holder. Methane hydrates potential as a future energy source[J]. Fuel Processing Technology, 2001, 71, 181~ 186.
- [6] Y F Makogon, S A Holditch, T Y Makogon. Natural gas hydrates—a potential energy source for the 21st century [J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2007,

- 56: 14~ 31.
- [7] 吴茂炳, 王新民, 李在光. 天然气水合物的形成分布特征及其开发前景[J]. 中国石油勘探, 2003, 8(2): 75~ 79.
- [8] 李小森. 天然气水合物能源的勘探与开发[J]. 现代化工, 2008, 28(6): 1~ 13.
- [9] 江怀友, 乔卫杰, 钟太贤, 等. 世界天然气水合物资源勘探开发现状与展望[J]. 中外能源, 2008, 13(6): 19~ 25.
- [10] 吴传芝, 赵克斌, 孙长青. 天然气水合物开采研究现状[J]. 地质科技情报, 2008, 27(1): 47~ 52.
- [11] 成海燕. 2006~ 2008 Mallik 天然气水合物开发试验进展[J]. 海洋地质动态, 2009, 25(1): 20~ 21.
- [12] Peter Englezos, Ju Dong Lee. Gas Hydrates: A Cleaner Source of Energy and Opportunity for Innovative Technologies[J]. Korean J Chem Eng, 2005, 22(5): 671~ 681.
- [13] 陈作义, 杨晓西, 叶国兴. 天然气水合物概况及最新研究进展[J]. 海洋通报, 2002, 21(3): 78~ 85.
- [14] 何家雄, 祝有海, 陈胜红. 天然气水合物成因类及成矿特征与南海北部资源前景[J]. 天然气地区科学, 2009, 20(2): 237~ 243.
- [15] Kvenvolden K A. Gas hydrate and humans[J]. Annals New York Acad Science, 2000, 912: 17 ~ 22.
- [16] Raynaud D, Chappellaz J. The record of atmospheric methane and role in global change[M]. Berlin: Springer Verlag, 1993.
- [17] Euan G, Xisber, David J W. Piper giant submarine landslide [J]. Nature, 1998, 392(26): 329~ 330.
- [18] Bouriak S, Vanneste M, Saoutkine A. Inferred gas hydrate and clay diapers near the storregaslide on the southern edge of the Voring plateau, offshore norway[J]. Marine Geology, 2000, 163: 125~ 148.
- [19] McIver R D, Richard D. Role of naturally occurring gas hydrates in sediment transport [J]. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 1982, 66 (6): 789~ 792.
- [20] 王淑红, 宋海斌, 颜文. 天然气水合物的环境效应[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2004, 23(2): 160~ 165.

Development in exploration and exploitation of natural gas hydrates

WU Quarr ping, LIU Lir jian

(*Department of Energy and Power Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China*)

Abstract: The vast reserves of natural gas hydrate (NGH) makes it becoming an ideal and potential new energy of the 21st century. The characteristics and the global distributions of NGH resources are introduced in this paper, and the development in the exploration and exploitation of NGH in the world is also presented.

Key words: Natural gas hydrates; Exploration; Exploitation