

日本海域天然气水合物开发技术进展

张 炜^{1,2}, 邵明娟^{1,2}, 田黔宁^{1,2}

(1. 中国地质调查局地学文献中心,北京 100083;2. 中国地质图书馆,北京 100083)

摘要:为了深入了解日本在海域天然气水合物试采过程中获得的经验和教训,给我国天然气水合物的开发提供借鉴和参考,系统介绍了日本第二次海域天然气水合物试采过程,并对日本2次试采技术和存在的问题进行了比较分析,归纳和总结了日本在天然气水合物试采方面的主要技术进展。研究发现,日本在2次天然气水合物试采过程中均遇到了出砂等技术问题,在钻井完井、防砂、人工举升、监测和原位测试等技术方面仍存在显著不足。结合日本在海域天然气水合物开发技术上取得的进步和不足,提出了统一协调研发工作、形成具有自主知识产权的开发设备体系和建立具有针对性的勘查与试采规范等建议。

关键词:非常规能源;天然气水合物;试采技术;日本

中图分类号:P618.13 文献标志码:A 文章编号:1001-0890(2017)05-0098-05

Technical Progress of a Pilot Project to Produce Natural Gas Hydrate in Japanese Waters

ZHANG Wei^{1, 2}, SHAO Mingjuan^{1, 2}, TIAN Qianning^{1, 2}

(1. Geoscience Documentation Center, China Geological Survey, Beijing, 100083, China; 2. National Geological Library of China, Beijing, 100083, China)

Abstract: In order to fully rounded understanding experience and lessons gained during Japan's off-shore hydrate production tests and providing the necessary references for the hydrate research and development(R&D)in China, the paper systematically introduced Japan's second offshore hydrate production test, compared and analyzed the technologies and problem of two production tests, and summarized the development of main production technologies in Japan. Research showed that technical problems such as sand production occurred in two production tests, and there were still significant deficiencies in several aspects, including drilling and completion, sand control, artificial lift, monitoring and in situ test. Combined with Japan's progress and deficiencies in offshore gas hydrate development technologies, some suggestions were put forward, such as to closely coordinate R&D, to form a development device system with independent intellectual property rights, and to develop the specifications for exploration and pilot production tests.

Key words: unconventional energy; methane hydrate; pilot production technology; Japan

天然气水合物的研究历程主要可以分为4个阶段:第一阶段是始于19世纪初的实验室合成研究阶段,第二阶段是始于20世纪30年代的管道及相关设备防堵塞研究阶段,第三阶段是始于20世纪60年代的自然界中天然气水合物赋存证实阶段,第四阶段是始于20世纪90年代的天然气水合物资源勘查与试采阶段^[1]。其中,天然气水合物试采的目的主要是发展相关科学理论、完善相关技术方法和积累相关工程经验,以最终实现天然气水合物的产业

化开发。天然气水合物试采涉及钻探技术、完井技术、防砂技术、人工举升技术、监测技术和原位测试

收稿日期:2017-05-02;改回日期:2017-09-04。

作者简介:张炜(1981—),男,黑龙江哈尔滨人,2004年获东北林业大学环境科学专业学士学位,2007年获中国地质大学(武汉)环境科学专业硕士学位,2011年获中国地质大学(武汉)水文学与水资源专业博士学位,高级工程师,主要从事地质科技与资源战略研究工作。E-mail:zhangwei@cgl.org.cn。

基金项目:中国地质调查局二级项目“地学情报综合研究与产品研发”(编号:121201015000150002)部分研究内容。

技术等多项技术,尽管很多技术可利用或借鉴常规油气开采技术,但需要根据天然气水合物的自身特性及其所赋存储层的特性进行改进或重新研发^[2]。截至目前,仅有日本和中国实施了海域天然气水合物试采,其中中国于 2017 年 3 月底至 7 月底在南海神狐海域进行了首次试采,在产气时长和总产气量等方面优于日本的 2 次试采。尽管如此,由于日本在天然气水合物试采相关技术研发和应用方面起步较早,具有较丰富的成功经验和失败教训,因此,笔者对日本天然气水合物试采技术及存在的问题进行了系统、深入的总结分析,以期为我国天然气水合物的开发提供借鉴和参考。

1 《日本天然气水合物开发计划》概况

日本周边海域蕴藏有大量的天然气水合物,而天然气水合物作为今后的清洁能源备受关注。为了实现对天然气水合物资源的开发利用,日本积极推进相关技术的研发,寻求更为经济的钻探和开采方式,确保长期和稳定的能源供给^[3],并制定了《日本天然气水合物开发计划》,具体目标为^[3-4]:1)明确日本周边海域内天然气水合物的赋存情况和特性;2)推测赋存有天然气水合物的海域里甲烷气体的资源量;3)在海域中选择具有开发前景的天然气水合物资源区域,并对其进行经济性评价;4)在选定的天然气水合物资源区域进行试采;5)开发相关技术,实现商业化开采;6)确立开发体系,注意环境保护。

为实现以上目标,设定了 3 个阶段,依次推进研发,各阶段的主要目标为^[3-4]:1)第一阶段(2001—2008 财年),推进基础研究(勘探技术等),选择资源区域作为海域试采的对象,通过陆上试采的实施进行技术验证等;2)第二阶段(2009—2015 财年),推进基础研究(生产技术等),在日本近海区域实施海上试采等;3)第三阶段(2016—2018 财年),开发相关技术,实现商业化开采,开展经济评价和环境影响评价等。

2 日本第二次海域天然气水合物试采的部署与实施进展

在第一次海域试采中,对海底下部的天然气水合物进行了 6 d 的连续生产,并取得了如下成果:1)验证了海域天然气水合物开发的可能性;2)明确了由于出砂导致不能继续生产和其他在进行长期生产

中可能面临的问题。第二次海域试采的主要目的是针对第一次海域试采中明确的技术问题(出砂、井下气水分离和长期稳定生产等)制定解决方案,在实际场地验证解决方案的有效性,并通过验证工作获取长期试采和未来商业化所需的储层响应数据^[5]。

第二次海域试采由日本石油、天然气和金属矿产资源机构(JOGMEC)负责整体监督管理,分别委托 Schlumberger 公司和 Aker Solution 公司负责井下设备和修井立管的设计、制造和作业等工作,Baker Hughes 公司负责防砂装置的设计和制造,Schlumberger 公司负责监测井测量设备的开发^[6]。截至目前,第二次天然气水合物试采的总体情况为:2016 年 5 月 9 日至 6 月 13 日,利用“地球号”深海钻探船钻探完成了 1 口地质调查井、2 口监测井和 2 口生产井;2017 年 4 月 7 日,日本经济产业省(METI)宣布“地球号”从清水港出发驶往第二渥美海丘开始进行第二次海域试采的准备工作^[7],宣告日本启动新一次海域试采,预期稳定生产约一个月^[5,8];2017 年 5 月 4 日,开始从水深 1 000.00 m 的海底下部 350.00 m 的含天然气水合物储层中产气^[9]。2017 年 5 月 15 日,由于大量地层砂进入第一口生产井内,决定临时中断产气试验,在为期 12 d 的产气试验中产气量 $3.5 \times 10^4 \text{ m}^3$ ^[10]。2017 年 6 月 6 日,METI 宣布完成第二口生产井的切换作业,并于 6 月 5 日确认产气,计划连续产气至 6 月下旬^[11]。

3 2 次海域试采技术对比分析

相较于第一次海域试采,第二次海域试采主要在站位选择、井位部署、生产试验系统的设计、井下设备、修井立管系统、防砂装置、降压生产过程、监测等方面有所不同,下面介绍具体实施情况。

3.1 站位选择

第二次试采的目的之一是验证第一次试采中遇到的技术问题的解决措施,所以选择了与第一次试采的实施站位和条件相近的场地(第二渥美海丘附近)^[6],并根据前期地质调查井所获随钻测井数据的评估结果,考虑预期的产气时段、薄互层单元的厚度以及顶面与侧向密封能力等因素,最终从距离渥美半岛西南约 80 km 海域的 2 处候选场地(场地 1 和场地 2)中选择场地 2 作为试采场地,该场地在第一次试采站位东南约 100 m 处^[5,12-13]。

3.2 井位部署

计划部署 1 口地质调查井、2 口监测井和 2 口生产井,其中 2 口生产井配备有不同防砂装置交替产气,在发生故障时可通过切换井来继续实施试采^[6]。

2016 年 5 月 9 日至 6 月 13 日钻探完成 1 口地质调查井、2 口监测井和 2 口生产井(仅钻至含天然气水合物沉积层上部),计划在 2017 年完成 2 口生产井储层井段的钻井施工,并在完井后进行试采^[5]。

在前期钻探中,利用地质调查井随钻测井(LWD)资料确定了最终试采场地的天然气水合物富集带和含水层等地层的地质情况;监测井中安装了温度和压力传感器,在井口安装了输出监测数据的设备,2 口监测井中的 1 口井钻穿天然气水合物富集带,另外 1 口井钻进富集带即停钻;2 口生产井均钻至天然气水合物富集带正上方,待 2017 年进行产气层段钻探、固井和防砂装置安装等作业^[5]。

3.3 生产试验系统设计

在第一次试采中,不管出于紧急情况还是事先计划,当处于断开状态时,都没有设计留在井下的设备,因此无法重新进行连接。由于当时没有可靠的插拔连接器,所以要收回全部的井下设备并重新连接电缆,然后再重新下水,因此最少需要 10 d 左右的作业时间;另外,在使用带防喷器的管道切断装置时,很难预测回收作业所需要的时间。因此,根据实际设备情况,在给定的预算及作业时间内,不可能重新进行试采^[6]。

第二次试采时采用与第一次试采相同的带动力定位系统的钻探船。为了降低紧急切断及计划断开的概率,对包括井下设备和修井立管系统的整个试采系统进行了改进^[6],即使出现计划断开的情况,也可以尽快恢复试采作业。

3.3.1 井下设备

重新评估井下系统和套管结构后发现,第一次试采中井下压力难以控制的原因是井筒内多处横截面积变小,导致气体和水的流速较快,无法实现更为有效的重力分离^[5]。因此,第二次试采时设计了更可靠的气水分离系统,在确保井下环空畅通的同时,提高气水分离效率^[5];此外,简化了井下设备,以降低发生故障的风险。与第一次试采相同,继续利用电潜泵进行井下降压,并针对降压控制问题,要求电

潜泵在抽气的同时也能抽水^[5]。

3.3.2 修井立管系统

第一次试采使用“地球号”深海钻探船和防喷器,该钻探船可钻至海底以下几千米的深度。然而,其质量超过 300 t,下放和上提设备要花费大量的时间(仅安装环节就需要 4 d),作业负荷较大,断开、重新安装以及切換作业非常困难^[6]。因此,第二次试采时采用质量较轻(约 120 t)、更便于重新安装和切換作业和允许更大船偏距的修井立管系统,主要由立(套)管、紧急中断套装(EDP)和防喷装置(WCP)等构成(见图 1)^[5-6]。其中,立管选择壁厚最厚且强度最大的 $\phi 244.5$ mm API Q125 套管作为生产管线,EDP 和 WCP 作为防喷器可以中断或紧急切断作业(见图 2)^[6]。

3.4 防砂装置

第一次试采作业时的生产井采取砾石充填防砂措施,但出现了出砂现象,导致第六天不得不终止试采,分析认为砾石移动损坏了筛网,导致出砂。因此,第二次试采决定采用不会发生砾石移动以及使用了抗变形和腐蚀(磨损)的形状记忆高分子材料的 GeoFORM 防砂系统,并加入了珠形金属嵌入物^[6]。2 口生产井使用 2 种不同型号的 GeoFORM 防砂系统:一种是作业较简单、污染较小、不存在不膨胀风险的预先膨胀 GeoFORM 防砂系统,但存在不能有效封堵的风险;另一种是能保证封堵效果的预先不膨胀 GeoFORM 防砂系统,但作业较复杂,污染较大,存在不能膨胀的风险^[12]。

3.5 降压生产过程

第二次试采计划首先在安装了预先膨胀的 GeoFORM 防砂系统的生产井进行试采,一旦试采情况不理想,就改用安装了井下膨胀的 GeoFORM 防砂系统的生产井。为了降低生产井储层周围的流速和压力梯度,采取分步降压的方法。

3.6 温度压力监测

第二次试采对生产井进行井下实时温度压力监测,在井下安装 10 个由 Schlumberger 公司开发的 WellWatcher Extend 传感器,其中 3 个安装在泵的周围,监测管道内流体的温度和压力;7 个安装在产气层段,测量不同深度的气水比,并利用一对双绞线缆传输数据^[12]。

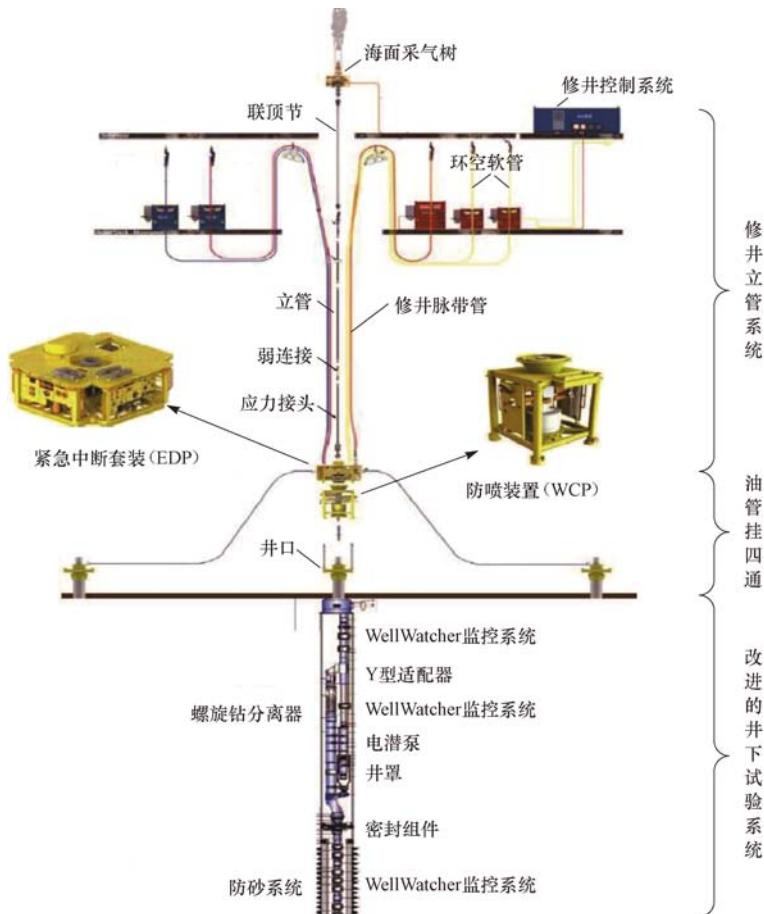


图1 修井立管系统示意

Fig. 1 Schematic diagram of workover riser system



图2 用于修井作业的立管和防喷装置

Fig. 2 Riser and blowout preventer used for workover operation

第一次试采时仅对监测井进行了温度监测,第二次试采时增加了压力监测,从试采前一年至试采后半年持续进行监测^[5]。井底到井口之间的所有层

段都安装分布式温度传感器(DTS);只在天然气水合物富集带集中安装具有多个传感器的电阻温度装置(RTD)和具有多个压力计的压力监测系统。

此外,将对海底溶解甲烷浓度的变化以及海底变形实施环境监测^[4]。为了了解试采前后的地层物性变化情况,除利用生产井和监测井进行监测和测量(温度和压力监测、测井)外,还将利用海底电缆开展四分量地球物理监测^[5]。

4 结论与建议

1) 天然气水合物开发是一项综合性的、跨多学科的工作,涵盖陆地和海洋,涉及基础科学、应用技术和工程技术,日本 2 次海域试采表明其目前仍然未形成可确保稳定产气的天然气水合物开发技术体系。我国应充分发挥政府机构、企业、科研院所和高校的优势,协调一致开展天然气水合物开发技术研究工作,抢占天然气水合物开发技术的“制高点”。

2) 建议对日本 2 次海域试采中严重影响产气的出砂问题开展针对性研究,通过室内试验实时观察出砂现象并分析其出砂机制;开发数值模拟器预测和解释出砂现象;研发松散地层的固化防砂技术,确保地层流体流动性的同时提高地层强度。

3) 应加强天然气水合物相关技术设备与仪器的研发,形成拥有自主知识产权的天然气水合物开发设备体系。

4) 为了规范我国的天然气水合物勘查与开发,应针对我国具体的天然气水合物赋存特征和地质条件,制定储层评价、资源量评价、场地(站位)优选、钻井完井和监测等方面的勘查与试采流程。

参 考 文 献

References

- [1] BEAUDOIN Y C, DALLIMORE S R, BOSWELL R. Frozen heat: a UNEP global outlook on methane gas hydrates[R]. United Nations Environment Programme, 2014.
- [2] 光新军,王敏生.海洋天然气水合物试采关键技术[J].石油钻探技术,2016,44(5):45-51.
GUANG Xinjun, WANG Minsheng. Key production test technologies for offshore natural gas hydrate[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2016, 44(5): 45-51.
- [3] 経済産業省. フェーズ3 実行計画(案)について[EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/031_06_00.pdf.
- [4] 経済産業省. フェーズ3 実行計画案の作成について[EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/029_05_00.pdf.
- [5] 石油天然ガス・金属鉱物資源機構石油開発技術本部. 平成 27 年度石油開発技術本部年報[R]. 2016.
- [6] 経済産業省. 第 2 回海洋産出試験の計画[EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/029_06_00.pdf.
- [7] 経済産業省. 第 2 回メタンハイドレート海洋産出試験に着手しました[EB/OL]. [2017-04-10]. <http://www.meti.go.jp/press/2017/04/20170410003/20170410003.html>.
- [8] 経済産業省. 第 2 回海洋産出試験の実施について[EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/032_05_02.pdf.
- [9] 石油天然ガス・金属鉱物資源機構. 第 2 回メタンハイドレート海洋産出試験メタンハイドレート層からのガス生産の開始について[EB/OL]. [2017-05-08]. http://www.jogmec.go.jp/news/release/news_06_000266.html.
- [10] 経済産業省. 第 2 回メタンハイドレート海洋産出試験におけるガス生産試験を一時中断しました~生産坑井の切り替え作業を行っております~[EB/OL]. [2017-05-15]. <http://www.meti.go.jp/press/2017/05/20170515003/20170515003.html>.
- [11] 経済産業省. 第 2 回メタンハイドレート海洋産出試験におけるガス生産試験を再開しました[EB/OL]. [2017-06-06]. <http://www.meti.go.jp/press/2017/06/20170606002/20170606002.html>.
- [12] メタンハイドレート資源開発研究コンソーシアム. メタンハイドレートの貯留層評価と生産挙動予測:在来型とどう違うか? [EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.mh21japan.gr.jp/mh21wp/wp-content/uploads/mh21form2016_doc03.pdf.
- [13] FUJII T, SUZUKI K, TAMAKI M, et al. The election of the candidate location for the second offshore methane hydrate production test and geological findings from the pre-drilling operation, in the eastern Nankai Trough, Japan[C]. The 9th International Conference on Gas Hydrate, Denver, Colorado USA, June 25-30, 2017.
- [14] 経済産業省. 環境チーム[EB/OL]. [2017-05-02]. http://www.meti.go.jp/committee/summary/0004108/pdf/031_08_04.pdf.

[编辑 滕春鸣]