

文章编号: 1008-2336(2006)01-0043-04

天然气水合物的储层保护技术探讨

李登伟^{1,2}, 张烈辉¹, 刘大伟², 王志强³, 梁雪原⁴, 郭了萍²

(1. “油气藏地质及开发工程”国家重点实验室·西南石油大学, 四川 成都 610500;

2. 西南石油大学 研究生院, 四川 成都 610500; 3. 大庆油田有限责任公司 第九采油厂, 黑龙江 大庆 163853;

4. 中法渤海服务有限公司, 天津 塘沽 300452)

摘 要:目前, 天然气水合物的开采技术主要有热激化技术、井下电磁加热技术、化学试剂技术和减压技术等四种技术。只有综合运用降压技术、热激化技术, 特别是井下电磁加热技术和现代钻井新技术相结合会更有效地开采天然气水合物。文章归纳总结了天然气水合物的开采技术和开采过程中可能遇到的储层损害问题及其对策。同时, 根据天然气水合物的物理力学性质、分布和成藏环境以及钻井特点, 认为天然气水合物可能存在的储层损害问题有温度敏感、应力敏感、井漏井喷、井壁坍塌、井眼缩径及蠕变等, 并分析了各种储层损害的原理, 可能造成的危害及其解决措施。

关键词:天然气水合物; 开采技术; 储层保护; 解决措施

中图分类号: TE132.2

文献标识码: A

天然气水合物(Natural Gas Hydrate, 简称水合物), 又称笼形包合物(Clathrate), 是水和以甲烷等为主的有机气体构成的可燃性物质, 主要存在于极地和海底温度很低的海域。天然气水合物在自然界大量存在, 并有望成为21世纪全球重要的替代能源^①。但是, 以从天然气水合物层生产为目的而开发的油田实例较少。因此, 如何快速勘探和开发巨大的天然气水合物资源, 并在开采过程中实施储层保护技术, 已成为石油工作者一项十分重要而又迫切的任务。因此, 本文利用国内外资料来归纳总结出的天然气水合物开采技术和储层保护技术无疑对开发天然气水合物具有一定的指导意义。

1 天然气水合物的性质和分布

天然气水合物一般存在于极地永冻土地层和海底沉积物中, 有时天然气水合物层下部存在游离气层^[1]。其物理力学性质主要有: (1) 天然气水合物分解后释放大气, 每立方米天然气水合物释放 $160 \sim 180 \text{ m}^3$ 天然气和 0.8 m^3 水。所以成功的开发天然气水合物, 不仅可以缓解能源危机而且也找到巨大的可利用淡水资源; (2) 天然气水合物在低温、高压条件下稳定, 在高温、低压下分解; (3) 天然气水合物的平衡条件依其气体和水溶液的混合成分而发生变化。

地球上的天然气水合物蕴藏十分丰富。前苏联科学院院士A. A. 特罗菲姆克根据天然气水合物生成条件分析, 于1986年撰文指出, 约有27%的陆地和90%的海域都可能含有天然气水合物。陆地的天然气水合物存在于高纬度极地大陆下或者大陆边缘的斜坡和隆起处, 距地表约200~2000 m深处。例如, 在格陵兰和南极地带等巨厚的冰川覆盖层下, 以及西西伯利(West Siberian), 加拿大马更些三角洲(Mackenzie Delta)等地有大量天然气水合物矿。海洋天然气水合物深埋在洋底500~800 m以下, 欧洲的里海、鄂霍茨克海和波罗的海海底以及贝加尔湖湖底都取出了含天然气水合物的岩芯, 而美国和加拿大沿海地区、危地马拉海岸、印度洋、日本海域都先后确认了天然气水合物的存在^[2]。

我国境内也有丰富的天然气水合物储藏。青

收稿日期: 2005-07-12; 改回日期: 2005-09-01

作者简介: 李登伟(1980—), 男, 四川眉山人, 硕士在读, 主要从事开发地质、油气藏工程、天然气水合物等方面的研究。

基金项目: 中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金项目(编号: 04E7047)、高等学校优秀青年教师教学科研奖励计划(TROAPY)、教育部博士点基金(编号: 20040615004)和四川省学术和科技带头人基金(2200320)联合资助。

① Li Dengwei, Zhang Liehui, Liu Dawei, et al. Discussions of Technologies of Evaluation, Exploitation and Experimental Research on Natural Gas Hydrates. Poster paper at the World Petroleum Congress 1st Youth Forum, October, 2004, Beijing, China

藏高原的羌塘盆地和东海、南海的大陆坡及其深海, 都可能存在体积巨大的天然气水合物。同时, 中国工程院院士、海洋专家金翔龙带领的课题组根据天然气水合物存在的低温和高压的必备条件, 并根据地温梯度, 结合东海的地质条件, 勾画出东海天然气水合物的分布区域^[3]。

2 天然气水合物的开采工艺

天然气水合物实质上是赋存于地球浅表部的一个巨大碳库, 故其研究的一个重要方向是环境

效应。研究表明, 由自然或人为因素所引起温压变化, 均可使天然气水合物分解, 造成海底滑坡、生物灭亡和气候变暖等环境灾害。但在长周期尺度上, 天然气水合物又是调节冰期气候变化的一个重要因素^[4]。此外, 天然气水合物还可广泛应用于油气加工储运、国防建设、环境保护和海水淡化等领域。目前, 天然气水合物的开采技术主要有热激化技术、井下电磁加热技术、化学试剂技术和减压技术等四种技术方案^[5] (详见表 1)。

总之, 只有结合不同技术的优点才能达到对天然气水合物的有效开采。若将降压技术、热激

表 1 天然气水合物的开采工艺对比

Tab. 1 Comparison of exploitation techniques on natural gas hydrates

工艺	定义及操作技术	优点	缺点
热激化技术	只要能促使温度上升达到天然气水合物分解的技术都可称为热激化技术, 如注入蒸汽、热水、热盐	速度快	会造成大量的热损失, 效率很低
井下电磁加热技术	井下电磁加热技术就是在垂直(或水平)井中沿井的延伸方向在紧邻水合物带的上下(或水合物层内)放入不同的电极, 再通以交变电流使其生热直接对储层进行加热	井下电磁加热技术能很好的降低了流体的粘度, 促进了气体的流动	效率较低
化学试剂注入技术	某些化学试剂, 诸如盐水、甲醇、乙醇、乙二醇、丙三醇等化学试剂可以改变水合物形成的相平衡条件, 降低水合物稳定温度	能降低初始能源输入, 在成功的移动相边界方面显得有效, 获得明显的气体回收	较热激化技术作用缓慢, 且费用太高。不宜开采大洋中压力较高的天然气水合物
减压技术	通过降低压力而引起天然气水合物稳定的相平衡曲线的移动, 从而达到促使水合物分解的目的	不需要昂贵的连续激发; 开采水合物层之下的游离气是降低储层压力的一种有效技术	只使用减压技术开采天然气的是很慢的

化技术, 特别是微波加热技术和现代钻井新技术相结合会更为有效地开采天然气水合物。首先, 由热激化技术在天然气水合物层之下形成一个天然气“囊”, 引起与天然气接触的天然气水合物变得不稳定并且分解产生天然气和水, 再使用未冷却的低密度钻井液钻大位移水平井或多分支井, 并采用能将进入钻井液中的分解的气体排出到地面上的、有大容量的气体分离器。最后用降压技术提取游离气体。同时, 通过调节从天然气“囊”中提取天然气的速度可以达到控制储层压力的目的, 进而达到控制天然气水合物分解的效果。

3 天然气水合物的储层保护技术和储层损害因素

3.1 储层保护技术

储层保护技术必须以岩石分析技术为依托,

室内敏感性评价技术为指导^①。钻探取样是识别天然气水合物最直接的方法, 目前已在世界许多地方获得了天然气水合物的岩芯^[6]。例如, 布莱克海岭、中美洲海沟、秘鲁大陆边缘、里海等地。但是, 要获得保持原位压力和温度的高保真岩芯样品, 必须采用高保真取芯器、原状水合物岩芯室内实验分析装置。目前, 国内外使用的保压取芯器主要有国际深海钻探计划(DSDP) 采用的保压取样筒 PCB、国际大洋钻探计划(ODP) 采用的保压取芯器 PCS、活塞取样器 APC、日本研制的 PTCS。国内外还有一些用于常规石油天然气取芯的压力密闭取芯器可直接用于天然气水合物的保压取芯, 如 ESSO-PCB、Christensen PCB、美国

① 康毅力, 罗平亚. 储层保护系统工程的实践与再认识. 云南大理: 全国油气层保护技术研讨会, 2004

的PCBBL、我国大庆的MY-215等,但保压、保温性能技术指标与DSDP-PCB、ODP-PCS、日本研制的PTCS相比存在差距。

3.2 储层损害因素和对策

根据天然气水合物的物理力学性质、分布、成藏环境以及钻井特点,天然气水合物可能存在的储层损害有温度敏感、应力敏感、井壁坍塌、井眼缩径及蠕变,以及井漏井喷^[7~8]。

3.2.1 温度敏感

天然气水合物在自然界处于亚稳定状态,赋存在海底水深大于300 m,温度0~10℃以下,压力10 MPa以上,而陆地上的永久冻土带,天然气水合物稳定深度是100~150 m。当温度发生改变可以导致天然气水合物分解产生一种低密度高气侵泥岩,其中释放气体形成超压,一旦重力负载或地震扰动都能诱发海底地质灾害,如海啸、滑坡等灾害,对此要有足够的安全预防措施^[2]。更为严重的是,天然气水合物用低温水溶解后,它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,若发生这类情况是很难补救与处理的。

解决天然气水合物温度敏感的措施主要有:

(1)在钻井过程中必须要选择低温钻井液,保持天然气水合物层的温度。否则会严重影响天然气水合物的温度敏感,造成严重的储层损害;(2)建立原位热稳定数学模型,对原位天然气水合物的热稳定性进行预测;(3)由于泥浆在低温环境下性状变化,因此要研发在低温下保持良好流变学特性的泥浆。当检测到天然气水合物显示时,应立即根据井内温度模拟模型适当调整泥浆比重、泥浆温度、泥浆循环量和钻头进尺等钻进参数,控制气体流入量钻进。

3.2.2 应力敏感

应力敏感是指岩石的孔隙结构在应力作用下发生变形,当其承受的净应力升高时,孔隙或裂缝发生收缩式闭合;而当净应力降低时,孔隙或裂缝会产生相对膨胀。岩石的孔隙结构随应力改变而发生的这种性质叫应力敏感性。储层在不断开采过程中,层内流体压力不断降低,岩石所受的净应力逐渐升高,使储层物性参数(孔隙度、渗透率)逐渐变差,造成应力敏感。一方面,在钻采过程中由于天然气水合物不断的分解、气化、采出,使岩石孔隙压力不断降低造成岩石骨架胶结变差而不再

坚硬,无法支撑上部地层压力,使储层物性变差,甚至造成岩石骨架垮塌,井壁失稳;另一方面,当压力发生变化时,将导致天然气水合物分解产生一种低密度高气侵泥岩,其中气体形成超高压,一旦地震或其它扰动都将诱发海底地质灾害。实际上要完全避免应力敏感是不可能的。因此,采取早期保护地层压力的办法,低压差生产,尽量延长出现应力敏感的时间,尽量保持低温开采,维持天然气水合物层的地层压力,以免天然气水合物大规模、不可控制地汽化。

3.2.3 井喷

井喷是地层中流体喷出地面或流入井内其它地层的现象^[6]。引起井喷的原因有地层压力掌握不准;泥浆密度偏低;井内泥浆液柱高度降低;起钻抽吸以及其它措施不当等。天然气水合物分解后释放大气,根据天然气水合物填充率,其体积会膨胀至120~170倍。天然气水合物分解后形成大量的天然气,会形成异常高压。这个压力很难把握和测量,很容易造成井喷。如果泥浆密度偏高,则泥浆会侵入天然气水合物层,造成严重储集层污染;如果泥浆密度偏低,在天然气水合物分解产生气体形成异常高压时,则会造成井喷。

对于陆上永冻土地区天然气水合物钻井可能发生的井喷,由于地层比较硬,井喷控制一般采用传统方法进行。对于海上天然气水合物钻井井喷可以根据天然气水合物的物理力学性质、分布和成藏环境,钻井特点进行有效地控制。

3.2.4 井壁坍塌

井壁坍塌问题是因为井壁岩石所受力超过其本身的实际强度,使岩石产生剪切破坏而引起的。而钻井液的侵蚀作用会降低井壁泥页岩的强度,使之更易发生坍塌。在陆上永冻土中钻探会不同程度的钻遇泥页岩,而发生井壁坍塌。目前,已经研制开发出防止泥页岩水化分散膨胀的钻井液配方和相应的处理剂,可使井壁坍塌问题得到缓解。

3.2.5 井眼缩径及蠕变

岩层缩径卡钻的主要原因有两个:一是由于岩石强度低,在井下高温作用下,岩层所受力可能超过岩石的屈服极限导致岩层向井内产生塑性变形,造成岩层缩径;另一个原因是岩层随时间而增加的粘弹性流动变形,这种变形经过一段时间后会造缩径卡钻。在泥页岩层,井眼缩径问题

经常出现。井眼缩径及蠕变的处理方法是:进一步认识和掌握岩层的岩性特征;进一步认识和掌握岩层的蠕变规律;设计合理的井身结构;使用合理的钻井液类型和性能;做好固井工作。

4 结束语

天然气水合物的分布范围广,储量大,是本世纪重要的替代能源。只有综合运用降压技术、热激化技术,特别是井下电磁加热技术和现代钻井新技术相结合才会更有效地开采天然气水合物。天然气水合物的储层保护技术必须以岩石分析技术为依托,室内敏感性评价技术为指导,加强对原状天然气水合物岩芯的取样和室内实验分析。由于天然气水合物处于亚稳定状态,因此,其主要的储层损害问题是温度敏感,应力敏感和井漏井喷。

海底的天然气水合物,开采起来十分困难,一旦出了井喷事件,就会造成海水汽化,发生海啸翻船。因此,开采永冻层中的天然气水合物要相对安全和成熟。我国青藏高原地处海拔 4 000~5 000 m 以上的高寒地区,是形成天然气水合物的良好环境,可以利用修建青藏铁路之机,勘探和开发沿线永冻层中蕴藏的天然气水合物资源。因

此,考虑适合我国国情的天然气水合物勘探开发钻探计划的思路,可以先钻采陆地永冻层中天然气水合物,再在海边从陆缘钻大位移水平井,最后再下海钻采天然气水合物^[2]。这个原则体现了先易后难,逐步提高,先陆路练兵,再下海开发,赢得了宝贵的时间,充分准备高科技钻探船的设计建造。

参考文献:

- 1 戴春山. 天然气水合物研究的新进展[J]. 海洋地质动态, 2002, 18(12): 12~ 17
- 2 史斗, 郑军卫. 世界天然气水合物研究开发现状和前景[J]. 地球科学进展, 1999, 14(8): 330~ 340
- 3 方银霞, 金翔龙. 海底天然气水合物研究进展[J]. 海洋科学, 2000, 24(4): 18~ 20
- 4 Haq B U. Gas hydrates: Greenhouse nightmare? Energy panacea or pipe dream[J]. GSA Today, 1998(11): 1~ 6
- 5 刘广志. 天然气水合物开发的现状和商业化的技术关键[J]. 探矿工程, 2003, (2): 8~ 10
- 6 许红, 吴琳, 胡敬东, 等. 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[J]. 中国科学基金, 2003, (2): 86~ 89
- 7 张绍槐, 罗平亚. 保护储集层技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 8 叶建良, 殷琨, 蒋国盛, 等. 天然气水合物钻井的关键技术与对策[J]. 探矿工程, 2003, (5): 45~ 48

The discussion of reservoir protection of natural gas hydrates reservoir

Li Dengwei^{1,2}, Zhang Liehui¹, Liu Dawei², Wang Zhiqing³, Liang Xueyan⁴, Guo Liaoping²

(1. The State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation• Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 2. Department of Graduate Student, Southwest Petroleum University, Chengdu 610500, China; 3. Oil Production Plant No. 9 of Daqing Oilfield Company Ltd., Daqing 163853, China; 4. China & France Bohai Geoservices Company, Tanggu 300452, China)

Abstract: Based on the analysis of resources home and abroad, the exploitation techniques are generated in this paper. The decompressing technique, thermal excitation technique, chemical reagent technique are the normal techniques to exploit natural gas hydrates. The combination of the thermal excitation technique and decompressing technique has bright future. Meanwhile, according to the natural gas hydrates characteristic of distributing and drilling and generating environment, natural gas hydrates may be damaged in reservoir such as temperature sensitiveness, pressure sensitiveness, well leakage and blowout, borehole shrinkage and borehole creepage, ect. This paper analyzes the principles and possible damage of all kinds of reservoir damage, and proposes solving measures.

Key words: natural gas hydrates; exploitation techniques; reservoir damage; resolving measures