

冻土区“裂隙型”天然气水合物人工合成实验*

王平康^{1,2)}, 张旭辉³⁾, 祝有海¹⁾, 黄霞¹⁾, 庞守吉¹⁾, 张帅¹⁾

1) 中国地质调查局油气资源调查中心, 北京, 100029;

2) 中国地质科学院矿产资源研究所, 北京, 100037; 3) 中国科学院力学研究所, 北京, 100190

天然气水合物是由具有相对较低分子质量的气体(如甲烷、乙烷、丙烷、二氧化碳、氮气等)与水在一定的低温高压条件下形成的一种内含笼形结构的固态类冰状物质。天然气水合物作为一种新型能源,主要赋存于海底沉积物和陆地永久冻土带中。天然气水合物以其巨大的储量,有望成为未来石油、天然气重要的接替能源。

青南藏北冻土区、祁连山冻土区和东北漠河冻土区是我国三大主要冻土区,具备较好的天然气水合物成矿条件和找矿前景。2008~2009年,我国在祁连山木里冻土区成功钻获天然气水合物实物样品,实现了我国陆域天然气水合物找矿的重大突破。自2011年起,中国地质调查局组织实施“天然气水合物资源勘查与试采工程”专项,全面启动了三大冻土区的天然气水合物资源勘查工作,在多个重点区块开展了地质、地球物理、地球化学调查,并针对优选的重点区块实施了钻探试验井工程,取得了一系列较为可观的研究进展,有效地推进了我国陆域天然气水合物资源勘查进程。

近年来,祁连山冻土区天然气水合物钻探结果显示,天然气水合物主要呈薄层状、片状、脉状赋存于泥岩、油页岩和粉砂岩中,并且岩石裂缝系统对其分布具有重要的控制作用。为了深入探讨这种“裂隙型”天然气水合物形成控制因素和评价裂缝性储层的天然气水合物储集性能,我们利用祁连山和羌塘盆地冻土区钻获的岩芯样品,开展了一项人工干预裂缝的天然气水合物合成实验。

1 实验装置和仪器

此次水合物合成实验是在中国科学院力学研究所自主研发的一套水合物合成与开采实验模拟

装置上完成的。该套装置由供气供水系统、压力室、温度控制与围压加载系统、反压控制和数据测量采集5部分组成。主要技术参数包括,①样品尺寸:圆柱形,直径4.0 cm,长度0~100 cm可调;②模拟地层温度:-30~30℃;③模拟地层压力:0~30 MPa;④测量参数:压力,0~30 MPa,精度0.01 MPa,温度,-30~100℃,精度0.1℃。该装置的特色在于其控温系统。由于在水、气充足时,水合物的合成只需要提供其相平衡条件,相同压力下温度低则先相变合成。根据这一原理,合成控温系统的流体流动方向与气体注入方向相反,这样,在气体入口温度较高,气体出口温度较低,通过控制流动速度使得水合物在气体出口端率先形成水合物,控温系统逐渐降温使得合成锋面向气源扩展。

2 实验过程

将祁连山和羌塘盆地冻土区钻获的粉砂岩、灰岩岩芯制备成直径3.8 cm的圆柱形样品,并在样品长度方向用切割刀具刻制宽度和深度在0~2 mm的人工干预裂缝。以此作为实验介质骨架,在其裂缝中合成水合物。水合物合成的气体采用甲烷,温度压力条件按照甲烷水合物相平衡曲线选择:一般温度为-10~2℃和压力为0~5 MPa。

水合物合成模拟的基本过程如下:

将含裂缝岩芯放置于水合物开采实验模拟的压力室中,并注入一定量的水;

以注入甲烷气体,控制孔隙气体压力为4 MPa为例,初始时,进气端温度为4℃,出气端温度为0℃,这样,沿着样品长度具有0.05℃/cm的温度梯度;

随着出气端的水合物合成饱和度增加,气体的

注:本文为“天然气水合物资源勘查与试采工程”国家专项(编号GZHL20110308,GZH201400301)资助的成果。

收稿日期:2015-02-03;改回日期:2015-03-01;责任编辑:周健。

作者简介:王平康,男,1982年生。硕士,助理研究员,主要从事沉积学和冻土区天然气水合物研究。Email:wangpk@cags.ac.cn。

渗透性降低, 气体供应缓慢直至停止, 瞬时流量为零。将进气端的温度不断降低, 使得水合物合成的锋面向进气端移动, 直至整个样品合成完毕, 样品长度方向的温度均为 0°C 。在合成过程中, 每隔几个小时在出气端进行排气, 提高气体在样品中的流动性;

最后, 为了使合成的水合物具有均匀性和较高的饱和度, 将制冷温度调整为 4°C , 再进行制冷注气过程 (温度振荡), 重复以上过程 2~4 次, 实验周期为 7 天。

3 结果和讨论

实验结果表明, 当样品长度方向具有温度梯度时, 岩芯裂隙中有水合物生成, 裂隙充填率可达到 50% 以上。在岩芯裂隙中肉眼能够看到细脉状的水合物, 并能够点火燃烧 (图 1)。当将岩芯放入常温的水中时, 岩芯裂隙中的水合物快速分解, 并产生大量的气泡, 部分裂隙被胀裂。与野外天然气水合

物钻探现场所观测到的水合物宏观特征极为相似。

进一步实验分析显示, 这种人工干预岩芯裂隙中的水合物合成量与含水量、供气量、温度、压力条件有关。在水合物合成过程中, 气体沿着裂隙渗流一定程度上加速水合物生成速度, 并增加水合物生成量, 但当气体渗流带走裂隙中的水分时, 水合物合成量则不再增加。

4 结论

首次利用祁连山和羌塘盆地冻土区钻获的岩芯样品在室内成功合成“裂隙型”天然气水合物, 与祁连山冻土区钻获的水合物样品相比, 在宏观产状上具有很大的相似性。高的天然气水合物裂隙充填率指示裂隙性储层不仅能为天然气水合物形成提供有效的气体运移通道, 而且还提供了较大的聚集空间。下一步的含水合物岩芯物性的测定将为利用地球物理方法探测我国陆域冻土区天然气水合物提供可靠的参数依据。

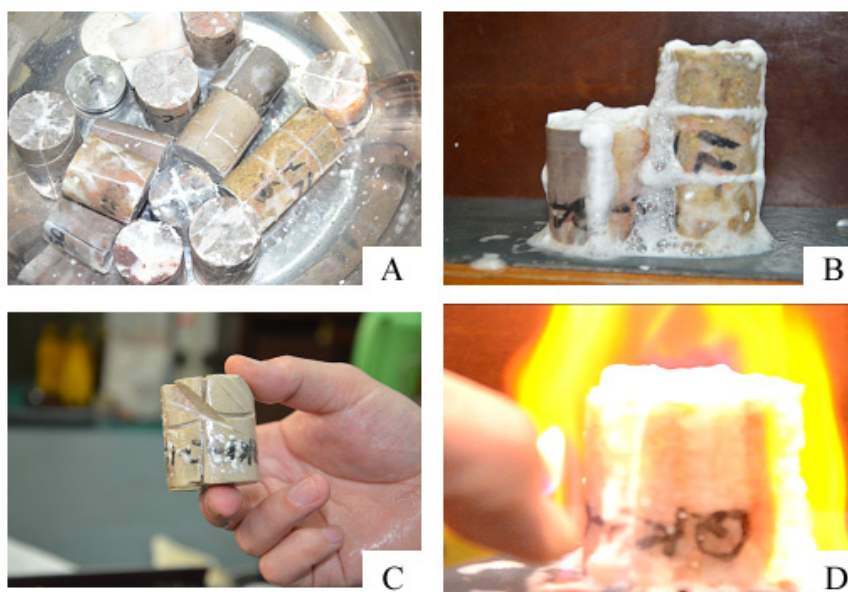


图 1 含裂隙岩芯天然气水合物合成实验

A—岩芯裂隙中白色物质为合成的天然气水合物; B—岩芯裂隙中水合物分解冒出甲烷气泡;

C—岩芯孔隙中水合物分解冒出甲烷气泡; D—含天然气水合物岩芯点火燃烧