

[引著格式] 李淑霞, 王志强, 张郁哲, 等. 热吞吐法开采天然气水合物技术试验研究 [J]. 石油天然气学报 (江汉石油学院学报), 2015, 37 (9+10): 50~52.

# 热吞吐法开采天然气水合物技术试验研究

李淑霞, 王志强, 张郁哲

(中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266555)

洪国斌, 朱丹

**[摘要]** 天然气水合物 (NGH) 作为一种高品质清洁能源, 在当代地球科学和能源工业发展中已成为一大研究热点。利用 NGH 合成与开采二维实验模拟系统, 模拟自然条件下 NGH 合成及热吞吐法的开采过程, 研究了不同吞吐周期和焖井时间对 NGH 藏开发效果的影响, 得出了以下结论: 在相同注热量的情况下, 减少注热周期数, 可以扩大热量传播范围、提高水合物分解率和能量效率; 适当增大焖井时间可以增大热量波及的范围, 增加产气速率, 但在开采后期, 延长焖井时间的作用并不大。由此, 可以为今后热吞吐法开采天然气水合物藏提供理论指导。

**[关键词]** 天然气水合物; 热吞吐法; 吞吐周期; 焖井时间

**[中图分类号]** TE357.44      **[文献标志码]** A      **[文章编号]** 1000-9752 (2015) 09+10-0050-03

天然气水合物 (NGH) 作为一种高品质清洁能源<sup>[1]</sup>, 在当代地球科学和能源工业发展中成为一大研究热点, 其特点是储量大<sup>[2]</sup>、能量密度高<sup>[3]</sup>、分布广。同时, 我国的南海、东海陆坡-冲绳海和青藏高原冻土带都发现有储量可观的 NGH 藏<sup>[4]</sup>。因此, 进行 NGH 藏相关的开采技术的研究, 对缓解我国所面临的能源危机具有重要意义。

目前有关 NGH 藏的开采方法包括注热法、降压法、注抑制剂法和 CO<sub>2</sub> 置换法<sup>[5]</sup>, 其中降压法和注热法被认为是最具有现场应用潜力的开发技术。由于降压法可操作性强、容易实现的特点, 已经进行过广泛的研究, 但降压法的实施对 NGH 藏的条件要求比较苛刻且生产效率不高<sup>[6]</sup>。注热法被认为比降压法更有前景, 注热法热量作用直接、效果迅速、水合物分解效果明显且适用范围广, 但注热法的明显缺点是热损失大, 尤其是在连续注热的过程中<sup>[7]</sup>。由于稠油油藏进行蒸汽吞吐开采取得了良好的效果<sup>[8]</sup>, 国内外研究者已将吞吐法引入天然气水合物开采领域。为此, 笔者开展了热吞吐法开采天然气水合物技术的试验研究。

## 1 试验部分

### 1.1 试验仪器

中国石油大学(华东) NGH 藏开采模拟实验室开发建立了一个二维的 NGH 合成及开采试验模拟系统。其最大工作压力为 10MPa。整个系统设置了 16 个温度测量点, 可以进行系统温度的全面分析, 模拟“五点法”井网设计有 5 个井位, 并安装了 4 个压力传感器 (如图 1 所示)。在试验过程中

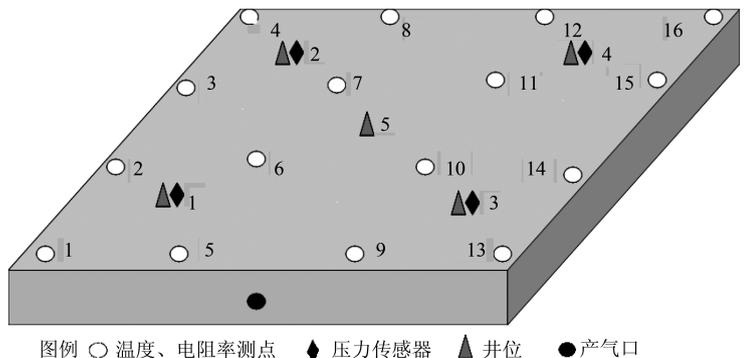


图 1 二维平面填砂板的测量点分布图

[收稿日期] 2015-08-22

[基金项目] 全国大学生创新创业训练计划项目 (20141027)。

[作者简介] 李淑霞 (1970-), 女, 博士, 教授, 现从事油藏数值模拟及天然气水合物的开采机理研究; 通信作者: 王志强, zhiqiangwang306@163.com。

的所有数据如温度、压力、产气量由计算机自动地采集存储。

## 1.2 试验材料

试验中用到的干砂为普通石英砂（粒径 180~600 $\mu\text{m}$ ）。二维平板模型经填砂后的孔隙度 35.09%。试验用水为配制盐水，质量分数 2.0%（其中 NaCl 质量分数大于等于 99.5%，蒸馏水自制）。试验所用甲烷气质量分数 99.9%。

## 1.3 试验步骤

1) 注水 通过注水阀门以 15mL/min 速度向模型中注入质量分数为 2.0% 的盐水，直到出口产水速度与注水速度相等，认为模型内已完全饱和盐水。

2) 气驱水 将模型入口由注水口换接到注气口，通过高压甲烷气瓶向模型内注入高纯度  $\text{CH}_4$ ，驱出一定体积盐水后停止注气并关闭出口阀门，再注入 98L $\text{CH}_4$  气体后停止注气。

3) 降温合成 将恒温箱温度设置为 1 $^\circ\text{C}$ ，进行等容降温合成。当模型内压力降低到 3MPa 左右，且长时间不再变化时，认为水合物合成完成。

4) 注热分解 控制出口回压阀压力与模型内压力相同，进行注热分解试验，产气、产水数据分别由气体流量计和电子天平测量。注热分解过程中，注水温度（90 $^\circ\text{C}$ ），注水速率（15mL/min）、累计注水体积保持不变，即注入的总热量相同。

通过大量调研，在掌握水合物注热开采技术现状的基础上，进行室内 NGH 藏热吞吐开采试验，分析不同吞吐周期和焖井时间对注热开采效果的影响，从而为实际 NGH 藏注热开采提供指导。因此，试验内容有：试验 1——不同吞吐周期对 NGH 藏注热开采的影响（总注热量相同，周期数不同，焖井时间相同）；试验 2——不同焖井时间对 NGH 藏注热开采的影响（总注热量相同，周期数相同，焖井时间不同）。

## 2 试验结果与分析

### 2.1 试验 1：吞吐周期对 NGH 藏注热开采效果的影响

试验参数见表 1。在 NGH 藏开采过程中，体现开采动态的重要评价指标是产气变化。绘制出不同吞吐周期下累计气体流量曲线（图 2）。

以吞吐周期数为 5d 的试验为例，可以看出，热吞吐法开采 NGH 藏的过程分为 3 个阶段，图中 OA 段为自由气的产出阶段，AB 段为注热进行热吞吐的阶段，BC 段为试验最后的降压产气阶段。吞吐周期数为 10d 也具有同样规律。

从整体上分析，吞吐周期数为 5d 的试验比周期数为 10d 的试验在开采阶段产生的气体总量要多。可以说明，一次注入较多的热量可以将近井处的水合物完全分解并将热量传递到远井；而少量多次的注入则重复加热近井地带，造成热量浪费。因此，适当减少吞吐周期，增大每次注入量更有利于水合物的吸热分解过程。但在注入量较大时，井下压力也会增大，引起注入压力升高。

在周期数为 5d 的试验中，每一次吞吐周期的曲线都有较为典型的阶梯式上升的形态。整个热吞吐

表 1 试验 1 试验参数设定

吞吐周期数 /次	单次注热时长 /min	含水合物饱和度 /%	焖井时间 /min
10	20	0.1643	3
5	40	0.1672	3

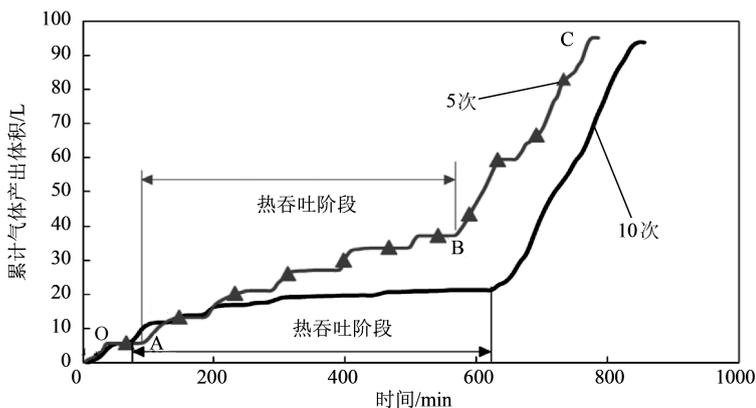


图 2 不同吞吐周期下累计气体流量随时间的变化曲线

阶段结束后，吞吐周期数为 5d 的试验所产出的气体采收率（37%）明显多于周期数为 10d 的气体采收率（21%）。

### 2.2 试验 2：焖井时间对 NGH 藏注热开采效果的影响

试验参数见表 2。在不同焖井时间条件下，累计产气量随着时间的变化如图 3 所示。可以看出，不同焖井时间下 NGH 藏开采也分为 3 个很明显的阶段，与不同吞吐周期下开采规律相同。在焖井时间为 15min 的测试中，首个吞吐周期的产气量很高，且占了整个热吞吐阶段总产气量的 50%。后 4 个周期的累计产气量曲线缓慢抬升；在焖井时间为 3min 的测试中，每个吞吐周期的产气量都相近，曲线呈稳步阶梯抬升状。由于注热量相同，热吞吐阶段 2 组测试的累计产气量约为 37L，但焖井时间为 15min 测试所用的时间更长。

表 2 试验 2 试验参数设定

吞吐周期数	单次注热时长	含水合物饱和度	焖井时间
/次	/min	/%	/min
5	40	0.1672	3
5	40	0.1710	15

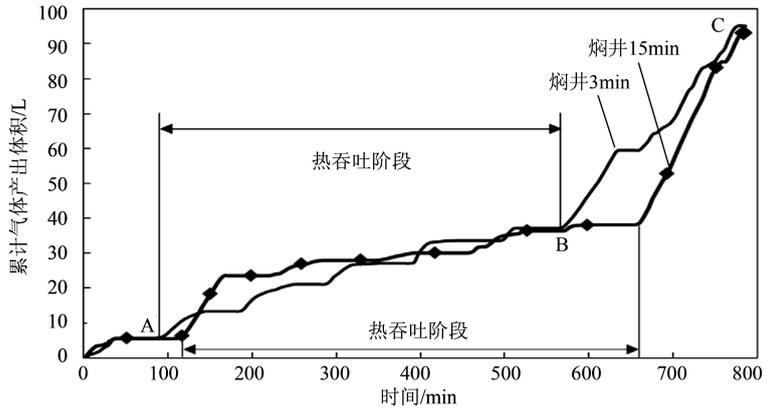


图 3 不同焖井时间下累计气体流量曲线

因此在相同注热量的条件下，适当延长焖井时间可以增加产气速率，因为注入的热量能够更多的传递到模型边界，弥补了边界处的热损失。但在进行了几个吞吐周期后，延长焖井时间作用不大，反而在达到相同产气量时所用的时间更长。

## 3 结论

1) 通过对 NGH 藏进行不同吞吐周期开采试验分析发现：在相同注热量的情况下，减少注热周期数，增大单次注热时间可以扩大热量传播范围、提高水合物分解率和能量效率，但是会受到井下压力过大的限制。

2) 通过对 NGH 藏进行不同焖井时间开采试验分析发现：在相同注热量的情况下的开发初期，适当增大焖井时间可以增大热量波及的范围，增加产气速率，但在开采后期，延长焖井时间的作用并不大，反而需要更长的时间。

### [参考文献]

[1] Sloan E D. Clathrate hydrate of natural gases [M]. New York: Marcel Dekker, Inc. 1998.

[2] 雷怀彦, 王先彬, 房玄, 等. 天然气水合物研究现状与未来挑战 [J]. 沉积学报, 1999, 17 (3): 493~498.

[3] Klauda J B, Sandier S I. Global distribution of methane hydrate in ocean sediment [J]. Energy & Fuels, 2005, 19 (2): 459~470.

[4] 徐学祖, 程国栋, 俞祁浩. 青藏高原多年冻土区天然气水合物的研究前景和建议 [J]. 地球科学进展, 1999, 14 (2): 201~204.

[5] 吴传芝, 赵克斌, 孙长青, 等. 天然气水合物开采研究现状 [J]. 地质科技情报, 2008, 27 (1): 47~52.

[6] 郝永卯, 陈月明, 李淑霞. 天然气水合物注热开采实验研究 [J]. 中国石油大学学报 (自然科学版), 2007, 31 (4): 60~63.

[7] 李淑霞, 郝永卯, 陈月明. 多孔介质中天然气水合物注热盐分解实验研究 [J]. 太原理工大学学报, 2010, 41 (5): 680~684.

[8] 蒲海洋, 杨双虎. 蒸汽吞吐效果预测及注汽参数优化方法研究 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25 (3): 52~55.