

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2017.02.004

天然气水合物保压转移装置的压力维持系统

陈家旺¹, 张永雷¹, 孙瑜霞¹, 刘方兰², 肖 波², 耿雪樵²

(1. 浙江大学 海洋学院, 浙江 舟山 316021; 2. 国土资源部广州海洋地质调查局, 广东 广州 510075)

摘 要: 天然气水合物在转移到检测装置的过程中, 压力会发生较大波动, 导致结构的不稳定而分解。天然气水合物样品保压转移装置能够维持样品的高压环境, 并将其转移到其他压力容器。文中主要介绍了转移装置及压力维持系统的工作原理, 利用 AMESim 软件对保压转移装置的压力维持系统进行建模, 分析了不同预充压力的蓄能器对压力变化的响应, 最后通过样品的转移实验验证压力维持系统的有效性, 同时得出球阀的关闭对样品的压力影响最大的结论。

关键词: 样品转移; 压力维持; AMESim 仿真; 蓄能器; 泵; 球阀

中图分类号: P751 **文献标志码:** A **文章编号:** 1003-2029(2017)02-0023-05

天然气水合物稳定存在于一定的低温高压条件下, 当压力降低或温度升高时, 天然气水合物组分会全部或大部分分解^[1], 造成对水合物重要性质研究的困难。目前国内外保压取样技术已经比较成熟^[2-4], 它可以保持水合物的原位压力, 并将其从海底提取至常温常压的海面, 而不会产生天然气水合物分解, 可以提供天然气水合物的最小扰动样品。但以上研究都重在将天然气水合物从海底保压取样, 如何将取得的样品在维持压力的情况下切割为任意小段, 并保压转移至实验室做进一步分析, 国内研究则涉及较少。如何实现天然气水合物的保压转移以便与检测分析装置无缝对接, 是天然气水合物的装备研究的新方向。

我国的天然气水合物保压取样技术已经可以成功取得长达 14 m 的柱状样品^[5], 但是保压转移技术却未有进展和突破。由于取得的少量宝贵样品没有后续的压力维持手段, 只能卸压至常压处理, 结果损坏了其原有结构。天然气水合物保压转移装置能最大程度的保持天然气水合物的理化性质, 为准确完成水合物原位特性的综合分析提供条件, 其中的关键技术是压力维持技术。天然气水合物的切割、分离、转移的全过程中维持原位压力, 是保持天

然气水合物稳定的关键。该技术的实现将推动我国天然气水合物的研究发展, 为深入研究乃至开采天然气水合物提供技术支撑, 并可有效推广至其他深海样品调查项目。

1 转移装置

如图 1 所示, 与保压取样器对接的天然气水合物样品保压转移装置^[6]主要由抓手单元、切割单元、压力维持系统、压力容器 4 部分组成。抓手单元要实现往复运动及样品管切割位置的控制和样品管的抓取及释放。抓手的前进后退由丝杠螺母机构实现, 在螺母上固定抓手, 电机驱动丝杠使螺母轴向运动。由于抓取到样品管后, 抓手与样品管就无相对运动, 可通过丝杠螺母机构的动力源来获取丝杠转动圈数, 计算抓手移动位置, 在行进的过程中通过上位机来实现样品管的位置控制。抓手仿照人类手指, 利用绕固定轴转动的顶杆在力矩作用下可开可合, 开时抓取, 合时释放。切割单元主要实现对样品管进行切割分段, 切割动作通过刀片绕样品管做圆周运动切割, 它由外部电机来驱动。进刀动作通过手动旋转外圈螺钉来推动刀片径向移动。

收稿日期 2017-01-04

基金项目 国家高技术研究发展计划(863 计划)资助项目(2013AA092503)

作者简介 陈家旺(1978-) 男, 副教授, 主要从事海洋技术装备研究。E-mail arwang@zju.edu.cn

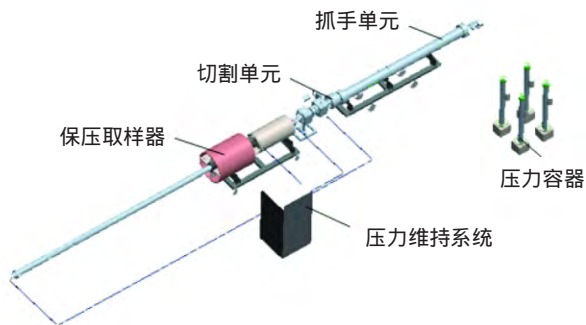


图 1 天然气水合物样品保压转移装置

2 压力维持系统

在整个转移过程中,抓手的前后运动、切割等都会造成样品压力的波动。天然气水合物样品保压转移装置的技术指标要求样品转移过程中压力维持稳定,压力波动小于 20%。所以压力维持系统的性能直接影响到样品转移的保压效果。结合转移装置的容腔体积的大小及操作需要,压力维持系统采用了液压泵和蓄能器共同保压的方式^[7],原理图如图 2 所示。

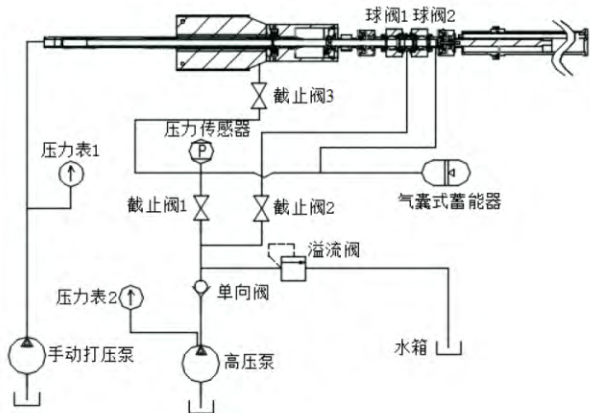


图 2 压力维持系统原理图

转移样品前,样品管是卡紧在取样器中的。手动打压泵在取样器的一端制造高压使样品管与取样器脱离,这样抓手就可以自由移动样品管。高压泵能快速为天然气水合物转移装置内充压,并通过溢流阀长时间地维持装置的高压环境。蓄能器能快速吸收脉冲及压力波动,减弱装置内压力波动。截止阀用于控制管路开闭,从而配合天然气水合物转移装置操作。天然气水合物样品保压转移装置充分利用液压泵和蓄能器各自的压力响应特性,始终将样品的压力控制在 160~240 bar 之间。

3 AMESim 仿真

3.1 建模

压力维持系统保压性能主要由液压泵、蓄能器和溢流阀等关键元件的性能决定。液压泵的排量 and 溢流阀的开启压力等参数容易确定,但蓄能器的预充压力等参数一般按经验选取。AMESim 软件可对压力维持系统进行高级建模和仿真,来研究蓄能器对压力变化的压力响应特性^[8-9]。压力维持系统建模如图 3 所示,对比图 2 左右两端的容腔、活塞、弹簧和质量块结构分别代表取样器和天然气水合物保压转移装置。3、4 是线性信号源,用来控制球阀的关闭。

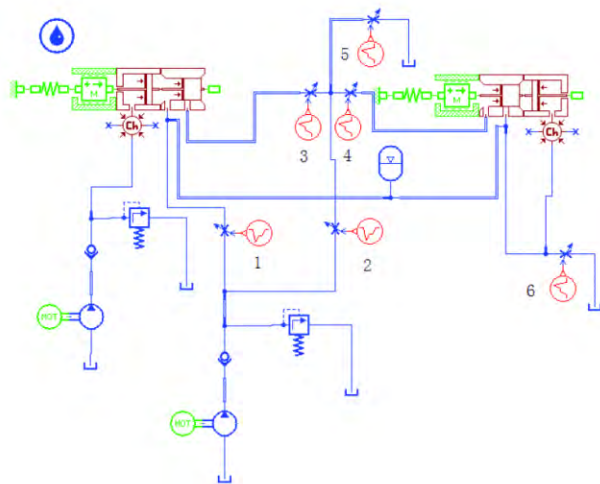


图 3 保压转移装置模型

3.2 压力仿真

3.2.1 蓄能器的预充压力对压力维持系统的影响
在仿真模型中增添一个阶跃的压力信号,模拟在转移过程中不同预充压力的蓄能器受到的压力冲击时的响应特征,有利于在工程实际中选择合适的蓄能器。在 AMESim 软件中,设置蓄能器的预充压力为 80~240 bar,容积为 6.3 L,得到仿真结果如图 4 所示^[10-11]。对比无蓄能器时的压力曲线,蓄能器可以有效减小压力冲击下的系统峰值压力。当蓄能器预充压力小于系统稳定工作压力 200 bar 时,随着蓄能器预充压力的提高,消减压力波动幅值的能力增强,蓄能器响应速度变快。当蓄能器预充压力大于 200 bar 时,蓄能器减弱压力波动幅值的能力变弱。综合以上规律,压力维持系统的蓄能器的预充压力可选 160~180 bar。

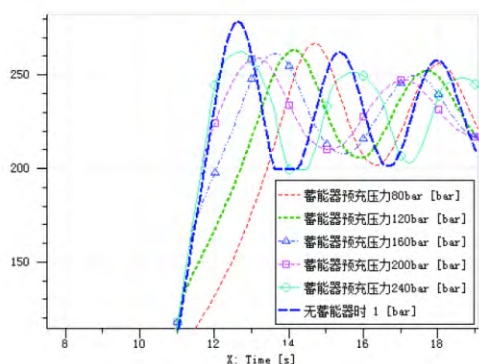


图4 蓄能器-转移装置压力变化曲线

3.2.2 液压泵对压力维持系统的影响分析 由于压力维持系统正常工作时的溢流阀的开启压力与水合物的原位压力相同。将泵的流量分别设置为 20 L/min, 40 L/min, …, 100 L/min, 得到在不同泵流量下转移装置的压力变化曲线如图 5 所示。

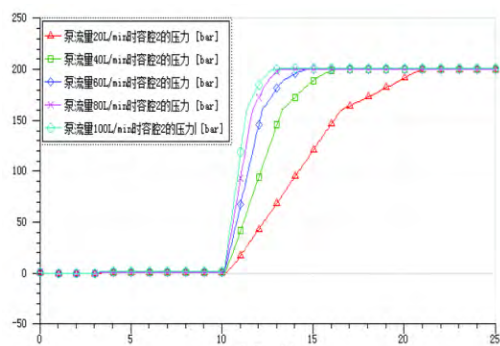


图5 泵-转移装置压力变化曲线

从图 5 中可以看出,随着泵流量从 20 L/min 增大到 100 L/min,转移装置压力上升曲线变陡,压力上升速度加快。但在实际操作过程中,如果加压速度过快,假如溢流阀开启压力设置不当,会导致天然气水合物转移装置内的压力过高,导致危险,因此应根据需要选择合适流量的高压泵。

4 保压转移实验

4.1 转移过程

天然气水合物样品保压转移装置工作过程如图 6 所示,当保压取样器与保压转移装置对接,利用压力维持系统往装置容腔内快速充水打压,待装置整体压力达到 200 bar,抓手开始运动去抓取样品管,将样品管移动到合适位置即可开始切割,切下小段样品管后,将剩余的样品管推回到取样器,然后将取样器与保压转移装置分离,抓手再将切割下来的样品管推回到压力筒内,装有样品管的压力筒

就可以直接拿到 X 射线 CT 测试室进行测试。

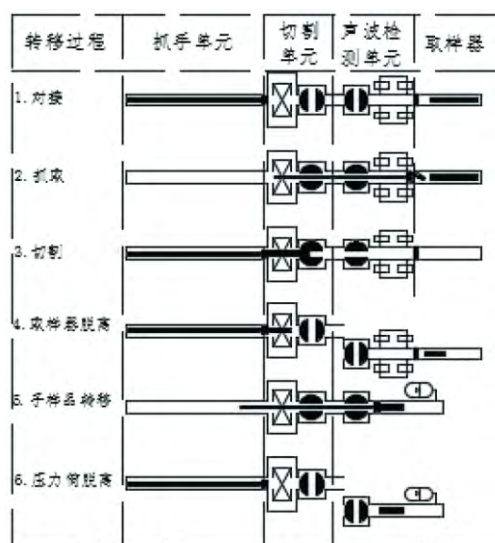


图6 转移过程

4.2 保压转移实验

为了验证压力维持系统的有效性,本文对样品转移的全过程进行了实验研究,如图 7 所示,取样器全长 5.7 m,转移装置全长 3.5 m,压力维持系统集成在台架上。选用的蓄能器容积为 6.3 L,预充压力为 180 bar。得到各工作阶段的压力曲线如图 8~图 9 和图 11 所示。



图7 保压转移实验

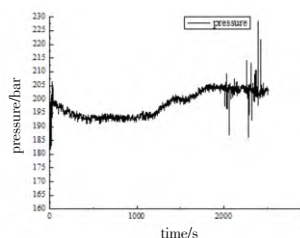


图8 抓手前进与脱管

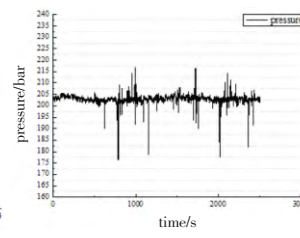


图9 抓手返回与切割

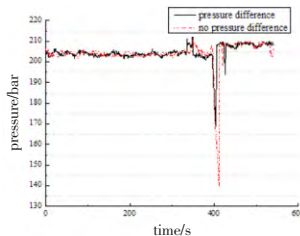


图10 球阀关闭改善对比

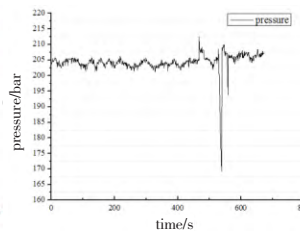


图11 样品转移

由图 8 可以看出,在前 2 000 s,抓手在装置腔体内前进造成的压力最大波动在 15 bar 左右。之后,由于突然的脱管动作,装置内压力出现大的震荡,最大压力可达 225 bar。但压力变化仍在控制的范围内。从图 9 的压力波动曲线看出,在前 800 s,抓手抓着样品管后退,装置压力变化也很小,但在切割样品管的时候,压力出现最大幅度约为 25 bar 的波动。但此波动有可能是由于压力传感器离切割部位距离较近,刀片旋转造成水流对传感器造成的影响。

在转移样品到压力筒阶段,由于球阀自身结构的原因,在压力筒与转移装置对接后,球阀打开时,装置容腔内的压力会迅速减小,甚至出现超过 40 bar 的波动。为改善这一状况,在球阀打开前,将用于装样品的压力筒的压力加到 220 bar(而不是原来的 200 bar),利用给球阀两端的容腔增加压差来减小球阀接通后压力变化的最大值。如图 11 所示,在有压差和无压差时,从球阀打开时压力的变化曲线可知,在没有增加压差时,装置内压力瞬间压力会下降至 140 bar 左右,增加压差后,压力最小值约为 170 bar,有效改善了球阀打开导致的压力波动。运用此方法,样品转移到压力筒中,压力曲线如图 10 所示,在约 550 s 时,打开球阀,装置压力下降

到 170 bar 左右。

综合样品的整个转移过程,压力维持系统能将天然气水合物转移过程中的压力波动维持在 20% 内,满足设计目标。

5 结 语

天然气水合物样品转移装置目的是将带压岩心样品转移到检测装置中进行原位分析。通过 AMESim 软件建模仿真和实验,可以得到以下结论:

(1) 天然气水合物样品转移装置的压力维持系统采用液压泵和蓄能器的保压方式能将压力波动控制在 20% 以内,实现较好的保压效果。此保压方式可有效用于更多的保压研究项目;

(2) 在样品整个转移过程中,球阀的打开对装置容腔内的压力影响最大,但通过增加球阀两端压差的方法能减小压力波动幅值;

(3) 在样品转移过程中,抓手的运动、切割动作造成的压力波动相对较小;

(4) 蓄能器参数的选取可通过建模仿真实现。压力维持系统的蓄能器的预充压力宜在 160~180 bar 范围。

参考文献:

- [1] Zhang Y, Li X S, Chen Z Y, et al. Methane hydrate dissociation by depressurization in sediments with different hydrate saturations in cubic hydrate simulator[J]. Energy Procedia, 2014, 61: 990-994.
- [2] Abegg F, Hohnberg H J, Pape T, et al. Development and application of pressure-core-sampling systems for the investigation of gas and gas-hydrate-bearing sediments[J]. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 2008, 55(11): 1590-1599.
- [3] Rothwell R G, Rack F R. New techniques in sediment core analysis: an introduction [J]. Geological Society, London, Special Publications, 2006, 267(1): 1-29.
- [4] Zhao J, Cheng C, Song Y, et al. Heat transfer analysis of methane hydrate sediment dissociation in a closed reactor by a thermal method [J]. Energies, 2012, 5(5): 1292-1308.
- [5] Chen J W, Fan W, Bingham B, et al. A long gravity-piston corer developed for seafloor gas hydrate coring utilizing an in situ pressure-retained method [J]. Energies, 2013, 6(7): 3353-3372.
- [6] Junbo Liu, Jiawang Chen, Fanglan Liu, et al. Development of one pressure core transfer device for one long gravity-piston pressure-retained corer[C]// IEEE, 2014.
- [7] 刘润强, 王娜, 王海艳. 常见的几种保压回路分析及其故障排除[J]. 科协论坛, 2013(09): 34-35.
- [8] 付永领, 祁晓野. AMESim 系统建模和仿真实例教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2011.
- [9] 梁全, 苏齐莹. 液压系统 AMESim 计算机仿真指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014.
- [10] 金学良. 基于 AMESim 的液压抗冲击系统设计与仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2011.
- [11] 何海洋, 俞科云, 陈国琳, 等. 蓄能器-泵系统压力缓冲仿真与试验[J]. 舰船科学技术, 2011(07): 55-58.

Study on the Pressure Maintaining System of the Pressure Core Transfer Device for Natural Gas Hydrate

CHEN Jia-wang¹, ZHANG Yong-lei¹, SUN Yu-xia¹, LIU Fang-lan², XIAO Bo², GENG Xue-qiao²

1. Ocean College, Zhejiang University, Zhoushan 316021, Zhejiang Province, China;

2. Guangzhou Marine Geological Survey, Ministry of Land and Resources, Guangzhou 510075, Guangdong Province, China

Abstract: The pressure of natural gas hydrate will substantially fluctuate when being transferred to a detection device, resulting in unstable structure and decomposition of natural gas hydrate. The pressure core transfer device for natural gas hydrate can maintain the sample under high pressure environment, and transmit it to other pressure vessels. This paper mainly introduces the the working principle of the transfer device and pressure-maintaining system, and uses AMESim software to model for pressure-maintaining system, and then analyzes the pressure response of the accumulator with different precharge pressures. Finally, the effectiveness of the pressure-maintaining system is validated through sample transfer experiments on the prototype. It is concluded that the closing of the ball valve has the most significant impact on the sample's pressure.

Key words: sample transfer; pressure maintaining; AMESim simulation; accumulator; pump; ball valve