

冻土区天然气水合物勘探低温钻井液理论与试验

杨 葳, 杨 阳, 徐会文

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘 要:天然气水合物是在特定的低温与高压条件下形成的产物。在天然气水合物勘探工作中,低温钻井液是获得天然气水合物真实样品的重要保证条件之一。低温钻井液应具有低的冰点、良好的抵制能力与良好的流动性。结合天然气水合物勘探工作的特点,在试验的基础上,对比分析了 PAM、PHPA、PAC-141、Na-CMC 与 KHm 的分子结构、官能团的种类与数量对钻井液的防塌能力和流动性的影响,得出了几种处理剂的耐低温能力大小的顺序为:PAC-141 < PHPA < PAM < Na-CMC < KHm,为天然气水合物勘探中低温钻井液的配制与使用,奠定了重要的基础。

关键词:天然气水合物;低温钻井液;高聚物;流变性;防塌能力;分子结构

中图分类号:P634.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)07-0029-03

Theory and Experiments of Low Temperature Drilling Fluid for Natural Gas Hydrate Exploration in Permafrost Area/YANG Wei, YANG Yang, XU Hui-wen (College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China)

Abstract: Natural gas hydrate is formed under the specific conditions of low temperature and high pressure. Low temperature drilling fluid is the key to get high quality samples of natural gas hydrate during exploration work. Acceptable low temperature drilling fluid for natural gas hydrate should be characterized by low freezing point, good inhibitive capacity and flowability. According to the characteristics of natural gas hydrate exploration and based on the laboratory experiments, the comparison and analysis were made on the influence of molecular structure of PAM, PHPA, PAC-141, Na-CMC and KHm; type and number of functional group to the anti-collapse capacity and flowability of drilling fluids. The results indicated that the low temperature tolerance of above mentioned additives could be listed in order from low to high as PAC-141 < PHPA < PAM < Na-CMC < KHm, which would provide important reference for the preparation and application of low temperature drilling fluid in natural gas hydrate exploration.

Key words: natural gas hydrate; low temperature drilling fluid; high polymer; rheology; anti-collapse capacity; molecular structure

0 引言

天然气水合物被认为是一种新型的洁净能源^[1],近年来,世界各国都相继加大了勘探开发天然气水合物的速度。天然气水合物是在特定的低温和高压条件下形成的产物,广泛分布于大陆边缘海底和冻土带沉积物中^[2]。在勘探取样过程中,为防止天然气水合物的分解,除了使用保压取样器外,根据天然气水合物相平衡条件,使用的钻井液温度越低,越有利于保持稳定,降低取样难度^[3]。为加速我国陆地天然气水合物勘探与开发进程,结合中国地质调查局“青藏高原冻土天然气水合物调查评价”项目,开展了低温钻井液的试验研究工作。所谓低温钻井液是指钻井液的冰点在0℃以下,同时要求在勘探与开采天然气水合物工作中所使用的钻

井液在冰点以下仍具有良好的流动性,良好的抑制天然气水合物的分解能力,并具有冲洗钻孔和稳定孔壁的作用^[4]。

1 钻井液冰点的选择

根据美国2008年在阿拉斯加北坡天然气水合物勘探资料,在冻土区天然气水合物勘探工作中,钻井液的入井温度控制在-2℃就可满足天然气水合物勘探的需要^[5]。在进行天然气水合物勘探与开发过程中,钻井液的入井温度高低对于天然气水合物的稳定性具有重要的影响。根据俄罗斯冻土勘探工作经验,钻井液在孔内完成一次循环,其温度上升的幅度不超过2℃,且与孔深关系不大。综合考虑确定低温钻井液的冰点为(-10~0℃)。

收稿日期:2011-04-05

基金项目:中国地质调查局地质调查项目“青藏高原冻土带天然气水合物调查评价”(1212010818055)

作者简介:杨葳(1983-),女(汉族),黑龙江汤原人,吉林大学建设工程学院硕士研究生在读,地质工程专业,吉林省长春市西民主大街6号,yangwei51763@163.com。

根据钻井液的冰点的高低,可以采取加入无机盐和防冻剂不同的方法降低钻井液的冰点。如果钻井液的冰点超过 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$,就必须使用防冻剂了。乙二醇是常用的水溶性的防冻剂,且具有来源广泛、价格低廉、安全无毒、无污染、在水中溶解度大等特点,符合钻井工作的要求^[6]。利用步冷曲线法测定不同浓度下乙二醇水溶液的冰点,见表1^[7]。同时,乙二醇显弱酸性($\text{pH} < 7$),有利于协助防塌的作用^[8]。以乙二醇作为防冻剂,也可提高钻井液的抑制性^[9]。

表1 乙二醇水溶液的冰点

乙二醇浓度/%	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	乙二醇浓度/%	冰点/ $^{\circ}\text{C}$	乙二醇浓度/%	冰点/ $^{\circ}\text{C}$
0	0	30	-17	70	-48.5
5	-2	40	-26	80	-41.8
10	-4.3	50	-38	90	-26.8
20	-9	60	-50.1	100	-13

2 钻井液类型的确定

根据青海木里盆地和黑龙江漠河盆地的地层条件,在天然气水合物勘探工作中采用了金刚石绳索取心钻进工艺。考虑到绳索取心钻进时其环状空隙小,结合以往研究工作的经验,钻井液在低温条件下,其粘度会将大幅度上升。另外,在低温条件下,膨润土的分散能力也将迅速下降,处理剂对膨润土的保护能力基本消失,为保持钻井液的稳定,提高低温条件下的流动性,以无固相聚合物钻井液作为主要试验研究类型。

3 有机处理剂的选择

为更好地发挥钻井液的防塌性能,有必要对钻井液防塌机理进行理论分析。决定钻井液防塌能力大小的因素有3个方面:一是钻井液中处理剂在井壁上吸附成膜的速度;二是在井壁上形成吸附膜的质量^[12];三是在钻井液中添加无机电解质,提高钻井液的矿化度以及 K^+ 浓度。处理剂的极性吸附基的侧链越短,其吸附成膜的速度越快, PVA 具有这样的特点,是首选的处理剂类型。成膜质量则是要提高所形成的吸附膜的密实度。单官能团处理剂在孔壁上形成吸附膜的密实度相对要差得多,为此应选择具有多官能团处理剂,与 PVA 协同作用提高吸附膜的密实度。多官能团处理剂的类型比较多,可选择的余地也比较大。常用的有丙烯酸类处理剂如 PHPA、PAC-141、PAC-142、PAC-143 等。此外,常用的还有 Na-CMC、KHm 等。为提高钻井液的

抑制性,在钻井液中还加入了 KPA、KCl 和 NaCl 等。

根据上述的理论分析,结合以往研究工作的经验,利用正交试验法,试验研究了各种处理剂组合下钻井液的配方,并进行了相关的常温条件下钻井液性能检验。利用上述处理剂组合,达到设计要求的钻井液配方比较多,其流变性、润滑性与抑制性均能达到要求。以流动性为例,并且各个配方在常温下所表现出的性能差别不大,见图1、2、3。

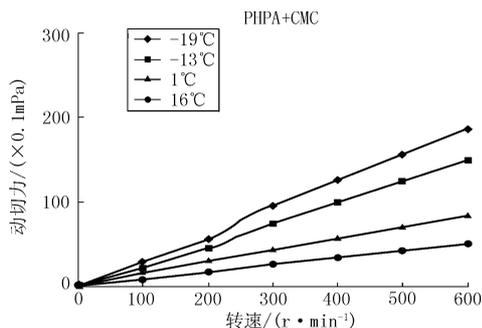
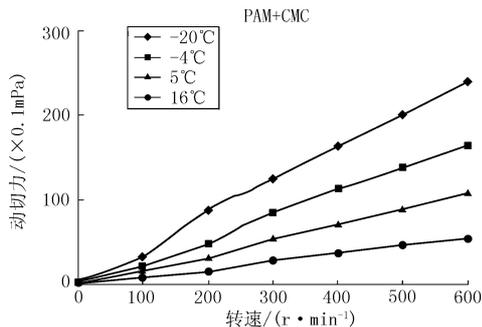


图1 PAM与PHPA钻井液耐低温能力对比图

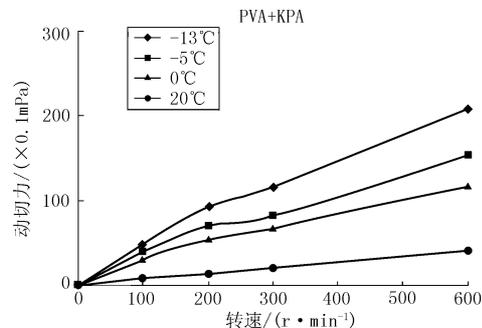
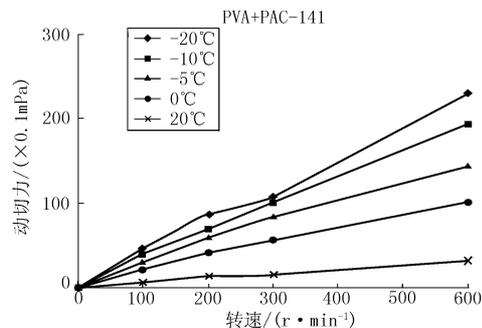


图2 PAC-141与KPA钻井液抗低温特性对比图

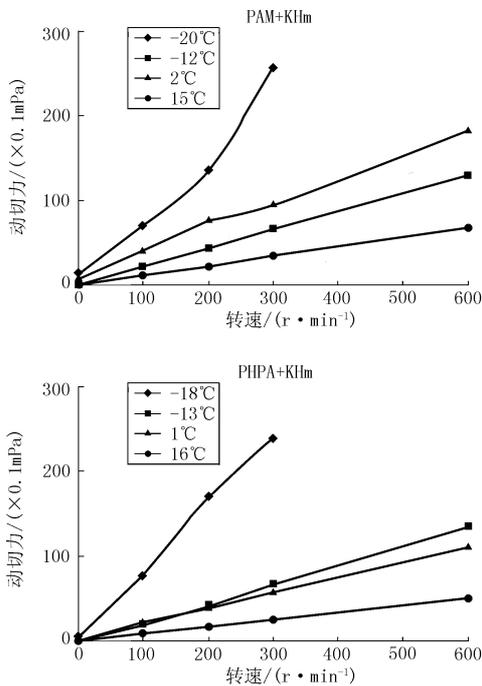


图3 PAM和PHPA钻井液抗低温特性对比图

4 钻井液低温流变性能试验

在所获得满足要求的常温钻井液配方的基础上,对各个配方进行了钻井液的冰点、抑制性和流动性等方面的试验测试工作。从图1、2和3中可以看出各配方在低温条件下所表现出的不同的特性。

由图1和图3可以看出,在钻井液中其余组分和加量均相同的情况下,两个配方在常温下的流动性基本相同,但在不同的温度条件下钻井液粘度增加的幅度却相差很大。添加了PAM的钻井液粘度增加的幅度要远远大于添加了PHPA的钻井液,说明了单一官能团的PAM抗低温能力大于两种官能团的PHPA。

由图2可以看出,PAC-141与KPA两种处理剂的耐低温能力相差不大,但仍比在钻井液中添加了PHPA与PAM的抗低温的能力要强。两种处理剂均属于丙烯酸系列的处理剂,PAC-141属于多官能团离子型的高聚物,KPA属于单官能团离子型高聚物,随着温度的降低PAC-141的粘度增加的比KPA要快,可以看出,官能团越多,其耐低温的能力越强。

通过对比可以看出,在钻井液中添加有Na-CMC、KHm,在低温条件下,钻井液的粘度均大于添加其它处理剂的钻井液的配方。Na-CMC其主链为环形高分子化合物,其分子间的内摩擦力将比线性的高聚物要大得多。KHm不是单一的化合物,而是一组羟基芳香族羧酸的混合物,其结构更加复杂。

在钻井液中发挥作用的只是其中很少的一部分,其余均属于活性很低的物质,可以认为是固相物质,由其组成的钻井液的粘滞性必然很大,在低温条件下表现得更加突出,由图1与图3可以看出Na-CMC与KHm两者之间的差别。

钻井液体系粘滞性主要取决于体系内部各组分间的内摩擦力大小。当在钻井液中添加有机高分子处理剂时,高分子化合物的主链结构的长短、分子构型、官能团的种类与数量、分子量、添加量以及在钻井液中存在的状态都会影响到体系的流动性的大小。高分子钻井液处理剂分子量较大时,分子在溶液中以两种方式存在,不仅有伸直状态,而且多数都是以主卷曲状态存在着。当处理剂浓度达到一定数值时,由于靠得很近,卷曲的高分子互相缠结,链与链之间相互联结,形成二维和三维的网状结构。高分子链间互相纠缠的概率快速增加,相互缔合或形成空间网状结构,阻碍了流动,同时也束缚了一部分水分子,从而造成钻井液粘度和切力的增加。

当温度逐渐降低时,水分子的热运动减弱,钻井液中的处理剂的柔顺性下降,高分子链的刚性增强,体系的粘滞性增大。当温度降至0℃以下时,被处理剂吸附和水化所存在的水分子的活度也基本停止,高分子链与链之间形成二维和三维的网状结构所包围的水分子也将失去流动性,造成体系的粘滞性迅速增加。高分子化合物分子的柔顺性随温度的下降程度则受到分子的线性程度、官能团的种类与数量的影响比较大。由试验可以看出,环形的分子结构对温度的敏感性要比线性的敏感性高;在线性结构中官能团越多对温度的敏感性越低;多官能团离子型的高聚物比单官能团离子型高聚物的温度敏感性要低;离子型和非离子型共存的高聚物比非离子型高聚物的温度敏感性要低,这主要是由于高分子链的柔顺性和水化程度的差异所引起的。各种处理剂的温度敏感性的顺序为:PAC-141 < PHPA < PAM < Na-CMC < KHm。

5 结论

(1) 常温下试验选定的各处理剂所组成的钻井液配方的流动性与润滑性相差不大,但其抑制能力则差别很大,其抑制能力的强弱与官能团种类的多少和水解度的大小有关。

(2) 钻井液的耐低温能力,主要取决于高聚物对温度的敏感性。其敏感性与分子链的线性程度和
(下转第56页)

2.3 不同井深处最小注气排量

根据大庆气体钻井实际: $\varnothing 215.9$ mm 井眼, 平均机械钻速 10 m/h, 井眼扩大率 10%, 地温梯度 3 $^{\circ}\text{C}/100$ m, 使用最小动能法计算, 计算结果见表 5。

表 5 不同井深需要最小注气排量对照表

井深 /m	标况下所需最小排量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)	井深 /m	标况下所需最小排量 /($\text{m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)
3000	69.1	4200	82.6
3400	73.5	4600	86.3
3800	77.9	5000	90.1

2.4 气体钻井设备合理化配置

根据不同井深计算出最小注气排量和环境温度与设备标况下的排量进行设备配置, 另外考虑到设备正常的维修保养, 额外增加一台空压机备用, 配置见表 6。

3 结论与认识

(1) 最小动能法和最小速度法均可以用来计算最小注气排量, 但最小动能法计算简单方便。应用表明: 最小动能法计算最小注气排量值与实际值误差小于 3%, 用此方法计算的最小注气排量可以指导现场作业施工。

(2) 气体钻井设备配置时, 除考虑工程参数外,

(上接第 31 页)

官能团种类与数量多少有密切关系。线性的分子链结构对温度的敏感性要低于环形的敏感性, 多官能团离子型的高聚物比单官能团离子型高聚物的温度敏感性要低, 离子型和非离子型共存的高聚物比非离子型高聚物的温度敏感性要低。

(3) 在试验条件下, 各处理剂的耐低温能力的顺序为 PAC - 141 < PHPA < PAM < Na - CMC < KHm。

参考文献:

- [1] Sloan E D. Clathrate Hydrates of Natural Gases (second edit) [M]. New York: MarcelDekker Inc, 1998. 1 - 628.
- [2] 许红, 黄君权, 夏斌. 最新国际天然气水合物研究现状及资源潜力评估[J]. 天然气工业, 2005, 25 (6): 18 - 23.
- [3] 康志勤, 赵建忠, 赵阳升. 冻土带天然气水合物稳定性研究

表 6 不同井深空气钻井设备配置表

井深/m	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$	设备配置/台
3000	-20 ~ 25	3
	25 ~ 40	4
3500	-20 ~ 0	3
	0 ~ 4	4
4000	-20	3
	-15 ~ 40	4
4500	-20 ~ 40	4
5000	-20 ~ 40	4

还应考虑环境因素影响, 在环境因素中, 温度影响最大。

参考文献:

- [1] William C. Lyons, Boyun Guo, Frank A. Seidel. 空气和气体钻井手册[M]. 曾义全, 樊洪海, 译. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [2] 毕雪亮, 陶丽杰, 翟洪军, 等. 空气钻井最小流量计算方法[J]. 天然气工业, 2008, 28(5): 63 - 64.
- [3] Boyun Guo, Ali Ghalambor. 欠平衡钻井气体体积流量的计算[M]. 胥思平, 译. 北京: 中国石化出版社, 2006.
- [4] 柳贡慧, 刘伟. 计算空气-氮气钻井最小气体体积流量的新方法[J]. 石油学报, 2008, 29(4): 629 - 632.
- [5] 李士斌, 陈晓华, 唐玉龙, 等. 空气钻井最小注气量的计算及其影响参数[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(22): 6635 - 6637.
- [6] 王存新, 孟英峰, 姜伟, 等. 气体钻井中井眼温度变化及其对注气量的影响[J]. 天然气工业, 2007, 27(10): 67 - 69.
- [7] 冯哲. 抗低温钻井液性能的试验研究[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2008.
- [8] 汤凤林, 等. 俄罗斯南极冰上钻探技术[J]. 地质科技情报, 1999, (6).
- [9] 天津大学, 华东石油学院. 有机化学[M]. 北京: 人民教育出版社, 1978. 169 - 169.
- [10] 曹婧. 低温条件下醇类水溶液黏性变化实验研究[J]. 石油规划设计, 2005, 16(2): 20 - 22.
- [11] 鄢捷年, 黄林基. 钻井液优化设计与实用技术[M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 1993. 75.
- [12] 张凌, 蒋国盛, 蔡记华, 等. 低温地层钻进特点及其钻井液技术现状综述[J]. 钻井液与完井液, 2006, 23(4): 69 - 72.
- [13] 汤凤林, 蒋国盛. 生产条件下冻结岩石钻进的试验研究——冻土钻探专题之三[J]. 探矿工程, 2002, (3): 28 - 38.
- [14] 展嘉佳. 不分散低固相聚合物钻井泥浆抗低温试验研究及地表冷却系统设计[D]. 吉林长春: 吉林大学, 2009.
- [15] 张红红, 徐会文, 冯哲. 聚合物钻井液防塌机理的试验研究[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2007, 34(1): 44 - 46, 61.