

天然气水合物钻探钻井液低温特性的研究

孙 涛,陈礼仪,朱宗培

(成都理工大学 环境与土木工程学院 四川 成都 610059)

摘 要 :天然气水合物是一种赋存于低温条件和较高压力的新型清洁能源,勘探开发中必须保持天然气水合物的稳定才能钻取实物岩心。从维持天然气水合物相态平衡着手,介绍了国外用于抑制天然气水合物相态平衡的低温钻井液体系,分析了低温环境下钻井液流变特性和密度特性,提出了天然气水合物钻探钻井液体系研究的建议。

关键词 :天然气水合物,钻探,钻井液,低温流变特性,密度特性

中图分类号 :TE254 **文献标识码** :A **文章编号** :1000-3746(2003)03-0035-03

Research on the Properties of Drilling Fluids at Low Temperatures Used in the Gas Hydrate Exploration/SUN Tao, CHEN Li-yi, ZHU Zong-pei (Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China)

Abstract : Natural Gas hydrates (NGH), a new kind of environmentally clean energy, can stably exist at low temperatures and high pressure. To avoid the decomposition of NGH during exploration, the temperature and pressure at its original state must be properly maintained. Firstly, this paper presents the methods currently used in the NGH exploration, and then introduces the formula of low-temperature drilling fluids tested at laboratory by foreign countries that have rich experience in the aspect of NGH research. Continuingly, the rheological behaviors and the property of density of low-temperature drilling fluids are emphatically discussed. At the end of this paper, suggestions regarding NGH exploration are also put forward.

Key words : natural gas hydrate (NGH); exploration; drilling fluids; rheological behaviors at low temperatures; property of density

1 天然气水合物钻探的现状

目前,天然气水合物勘探主要采用地球物理方法,如地震反射法中的BSR技术、钻探取样技术、测井技术,而通过地质钻探钻取天然气水合物矿样是一种最直观的方法。

就目前实践来看,在钻探中抑制天然气水合物分解的方法基本有2种:分解抑制法和分解容许法。前者使用冷却的高密度钻井液钻进,以达到防止水合物层温度上升,将水合物维持在平衡状态的目的;后者是使用未冷却的低密度钻井液钻进,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,但在起下钻、测井、下套管固井等作业时,为控制水合物分解,还要换成高密度钻井液,易出现井涌、井喷,引起井壁失稳。相比而言,前者既能有效防止水合物分解又能节约因更换钻井液所用时间,具有较好的应用价值。

2 天然气水合物钻探所采用的钻井液

目前,国外在天然气水合物钻探中推出的钻井

液类型主要有水基和油基2大类,也有采用泡沫、乙酸丁酯、乙醇、有机硅溶液以及氟利昂进行钻进的实践。在应用水基钻井液进行钻探方面,挪威采用无机盐(如NaCl)和其它有机盐组成的高浓度含盐钻井液在抑制水合物分解方面取得了较好效果。另据Ouar H.报道,盐和蒙脱土、水解聚丙烯酰胺等组成的钻井液也有较好的热力学抑制性能。从抑制天然气水合物分解来看,水基钻井液体系优于油基钻井液体系。

3 维持天然气水合物相态平衡的钻井液体系

国外的试验资料表明,不同钻井液体系对天然气水合物的抑制程度是不同的。表1为不同钻井液体系在不同压力和温度条件下维持天然气水合物相态平衡试验数据。

从表1试验数据来看,不同钻井液体系可在不同低温(1~9℃)和高压(10MPa以上)条件下使水合物保持相态平衡,抑制其分解。试验中添加了Aqua-ColTMS(聚乙二醇)、Geo-Meg D207(甲基

收稿日期 2002-12-18

作者简介:孙涛(1979-),山东德州人,成都理工大学硕士在读,地质工程专业,研究方向为岩土工程施工与设计,四川省成都市二仙桥东三路1号,osonchn@yahoo.com.cn;陈礼仪(1957-),四川郫县人,成都理工大学教授,探矿工程专业,从事岩土钻掘工程施工技术与材料以及钻井液技术方面的教学与科研工作,ely@lib.edut.edu.cn;朱宗培(1932-),浙江平湖人,成都理工大学教授,钻井工程专业,从事钻井液处理剂技术和材料方面的科研工作(028)84078191。

表 1 不同钻井液体系中天然气水合物相态平衡的数据

钻井液样本(质量百分比)	平衡温度 / $^{\circ}\text{C}$	平衡压力 /MPa
20% NaCl	7.0	10.34
20% NaCl + 10% EG	1.1	11.33
15% NaCl + 5% KCl + 10% EG Mud	6.1	10.38
15% NaCl + 5% KCl Mud	9.4	11.95
20% NaCl + 10% Aqua - ColTMS	2.1	10.41
10% NaCl + 10% KCl + 10% Aqua - ColTMS	6.1	9.86
15% NaCl + 5% KCl + 10% Aqua - ColTMS Mud	6.1	9.58
15% NaCl + 5% KCl Mud	9.4	11.95
20% NaCl + 10% HF - 100N	2.6	10.48
15% KCl + 30% HF - 100N	6.4	10.24
40% Na - Formate	2.1	11.31
20% Na - Formate + 10% Aqua - ColTMS	6.1	10.31

貳)、EG(聚乙二醇)之类的有机化合物和 NaCl、KCl、Na - Formate(甲酸钠)之类的无机化合物,有效降低了钻井液温度,得到了低温钻井液。

4 低温钻井液的流变特性

天然气水合物钻探中所用的水基钻井液体系不同于一般钻井的水基钻井液,是因为天然气水合物钻探是在较大深度中进行,孔底的钻井液在较高压力下工作,钻井液不仅要具备良好的冷却钻头、清洁孔底、悬浮排除岩屑、稳定孔壁和抑制水合物分解的能力,还要在高压、低温的状况下具有良好的流变性能。依钻井实践和室内试验来看,一般认为高压对水基钻井液的性能没有显著的影响,因此对天然气水合物钻探所采用的水基钻井液来说要解决的核心问题是低温下具有良好的流变特性。

一般来讲,钻井液属非牛顿流体,其流变特性主要包括表观粘度、塑性粘度、动切力、静切力和触变性。在天然气水合物钻探低温环境下,钻井液流变性会受到一系列影响,其中粘土水化作用是影响钻井液性能和井壁稳定性的重要因素。

4.1 表观粘度和塑性粘度特性

粘度的主要影响因素包括粘土含量,土粒分散度,粘土颗粒的 ζ 电位和吸附水化膜的厚度,以及高分子处理剂的类型。

根据扩散双电层理论,低温下,粘土颗粒表面扩散层的阳离子扩散能力减弱,吸附水化膜厚度变薄, ζ 电位下降,加之水分子渗入粘土内部的能力减弱,粘土颗粒在钻井液中的分散度降低,颗粒之间的摩擦增加,导致钻井液表观粘度和塑性粘度提高,这对维护井壁稳定是有利的。

为改善钻井液性能,在钻井液中需添加高分子聚合物,因其链长、蜷曲,钻井液流动阻力增大,使其

粘度增大,而且粘度随高分子聚合物分子量、浓度以及水解度不同而异。

表 2 是以高分子聚合物聚丙烯酰胺为例,说明在低温环境($0 \sim 10^{\circ}\text{C}$)、水解度很低($< 10\%$)的情况下,水解聚丙烯酰胺对钻井液粘度的影响。

表 2 低水解度聚丙烯酰胺加量与钻井液粘度的关系

聚丙烯酰胺浓度/($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	100	150	200	250	300	350	400
钻井液的粘度/s	17.0	17.2	17.6	17.6	18.0	18.8	18.9

注(1)试验用黄土钻井液的密度为 1.20 g/cm^3 (2)用漏斗粘度计测定粘度。

同时,为得到低温钻井液,需加入适量的无机盐(如:NaCl、KCl等), Na^+ 、 K^+ 等阳离子的加入能中和粘土颗粒表面的负电荷,使粘土颗粒的双电层和吸附水化膜变薄, ζ 电位下降,颗粒间相互吸引,形成网架结构,使钻井液粘度随之增大。表 3 列出了 NaCl 加量与钻井液粘度之间的关系。

表 3 NaCl 加量与钻井液粘度的关系

NaCl/%	5.00		15.00	
存放时间/h	24	48	24	48
钻井液的粘度/($\text{mPa} \cdot \text{s}$)	14.4	11.8	23.2	21.6

从实践来看,俄罗斯曾在 20 世纪 90 年代的南极冰上钻探中采用乙酸丁酯、多类航空燃料以及氟利昂为介质进行钻进,数据表明所用钻井液的粘度是随温度的减小而增加的(见图 1)。

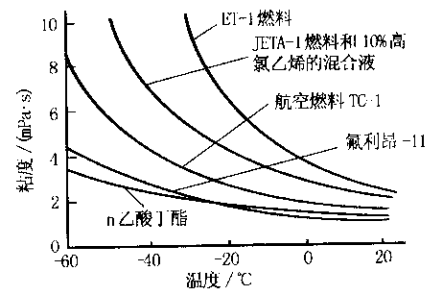


图 1 不同低温钻井液的粘度与温度的关系

4.2 静切力和动切力特性

静切力的大小决定了钻井液静置后悬浮岩屑能力的大小。影响静切力大小的因素主要有粘土含量、土粒分散度、粘土颗粒的 ζ 电位和吸附水化膜的厚度。

低温下,因粘土颗粒分散度降低,吸附水化膜厚度变薄, ζ 电位降低,粘土颗粒之间距离减小,相互间吸力(凝胶强度)增加,使粘土颗粒之间易形成结构,导致钻井液静切力增大。

动切力的存在有利于提高钻井液悬浮和携带岩

屑的能力。影响钻井液动切力大小的因素与影响粘度的因素有许多相似之处。

低温下,因粘土颗粒分散度降低,ζ 电位减小,吸附水化膜厚度变薄,粘土颗粒之间就容易以端对端、面对面的形式构成较强的网架结构,使钻井液动切力增大。

高分子聚合物添加剂和一定量的无机盐低温下和粘土颗粒有相似的表现,能提高钻井液的动切力和静切力。表 4、5 分别为低温下、低水解度聚丙烯酰胺(水解度 < 10%)和 NaCl 与钻井液动切力、流性指数及静切力的关系。

表 4 低水解度聚丙烯酰胺与钻井液动切力、流性指数的关系

聚丙烯酰胺浓度/(mg·L ⁻¹)	100	300	500	700	1000	1500	2000
动切力 τ ₀ /Pa	0	0	5.0	7.5	13.5	23.0	32.5
流性指数 n	1	1	0.76	0.70	0.61	0.56	0.54

表 5 NaCl 加量与钻井液静切力的关系

NaCl/%	5.00	15.00
存放时间/h	24	24
钻井液的静切力/Pa	初切力	4
	终切力	7

4.3 触变特性

在低温的环境下,粘土颗粒的分散度和颗粒间距离较小,停止钻进后钻井液体系就会在较短的时间内建立起稳定的网架结构,对于悬浮岩屑有利,但由于低温下钻井液具有较大的静切力,在开泵时就需要克服较大的阻力,需要的泵压较高,重新起钻较困难。可见钻井液低温下的触变性有向着凝聚方向转化的趋势。

综上所述,低温环境下钻井液的流变特性为较大的表观粘度、塑性粘度、动切力和静切力。这些特征在满足天然气水合物层钻探中维持井壁稳定和抑制水合物的分解是有利的。

5 低温对钻井液密度的影响

低温环境下,钻井液密度也会随之变化,这一点在俄罗斯南极冰上的钻探中也得到了证实,低温钻井液的密度和温度的关系如图 2 所示。

对于钻井液密度随温度的降低而增加的特性,其原因一方面是由于钻井液受“热胀冷缩”的性质的控制,低温下其密度必然要发生某些变化;另一方面对天然气水合物钻探钻井液来说,低温还会引起粘土颗粒水化膜变薄,颗粒间的距离减小,导致单位体积颗粒含量增大,密度随之变大。

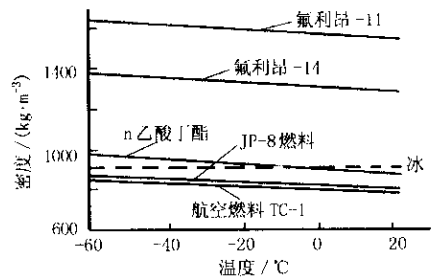


图 2 不同低温钻井液的密度与温度的关系

以上因素必然会导致井底与井口的钻井液密度的不等,给钻井液的整体稳定性带来隐患。因此,在进行低温钻井液配方研究时,要使钻井液一方面能有效的抑制天然气水合物的分解,保持其相态平衡,另一方面还要使钻井液的配方能使钻井液本身有良好的稳定性。

6 结语

在天然气水合物钻探中,钻井液必须能有效地抑制水合物分解,维持其相态平衡,同时在低温下必须有良好流变特性以有效悬浮岩屑和维持井壁稳定。

低温下,钻井液的基本流变特性,即表观粘度、塑性粘度、静切力和动切力,均增大,有使钻井液向凝聚方向转化的趋势,加之低温下,钻井液密度在井底和井口的不均衡性,极易使钻井液固相(如:粘土、岩屑)产生固结沉降,影响钻井液流变特性。

因此,在进行天然气水合物钻探低温钻井液体系研究时,要注意对添加剂(无机盐和有机高分子聚合物)的选用,使钻井液具有良好的稳定性。

参考文献:

- [1] Hege Ebeltoft, et al. Hydrate Control during Deep Water Drilling: Overview and New Drilling 2. Fluids Formations[J]. SPE (38567), 1997.
- [2] Ouar. H., et al. The Formation of Natural Gas Hydrate in Water-Based Fluids[J]. IchemE, 1992 (1).
- [3] 邱存家,等. 天然气水合物钻探中钻井液的使用[J]. 探矿工程 2002 (3).
- [4] 汤凤林,等. 俄罗斯南极冰上钻探技术[J]. 地质科技情报, 1999 (6).
- [5] 黄汉仁,等. 钻井液工艺原理[M]. 北京:石油工业出版社, 1981.
- [6] 汤凤林,等. 生产条件下冻钻岩石钻进的试验研究[J]. 探矿工程 2002 (3).
- [7] 吴隆杰,等. 钻井液处理剂胶体化学原理[M]. 成都:成都科技大学出版社, 1992.