

天然气水合物勘探低温钻井液体系与性能研究*

孙涛 陈礼仪 邱存家 朱宗培

(成都理工大学环境与土木工程学院)

孙涛等. 天然气水合物勘探低温钻井液体系与性能研究. 天然气工业, 2004; 24(2): 61~63

摘 要 天然气水合物是一种赋存于低温和高压条件下的新型清洁能源, 被喻为潜在的常规能源的替代品。文章首先介绍了天然气水合物勘探现状, 进而以维持天然气水合物相态平衡的分解抑制法为基础, 介绍了维持水合物相态平衡的低温钻井液体系的应用情况, 分析了钻井液在低温条件下的性能, 提出在进行天然气水合物勘探的低温钻井液体系研究时, 务必要注意对有机高分子聚合物和无机盐添加剂的选用, 使钻井液体系具有良好的流变性能和稳定性。

主题词 天然气水合物 勘探 低温钻井液 性能

天然气水合物是由水和天然气在一定条件下结合形成的晶体状化合物, 主要成分是甲烷。所以天然气水合物又被称为甲烷水合物(Methane Hydrate)。自然界中发现的天然气水合物多呈白色, 遇热会迅速分解。故天然气水合物一般赋存于较低温度($0\sim 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)和较高压力(大于 10 MPa)的地层条件下。计算表明, 在标准状态下, 1 m^3 的天然气水合物可分解出大约 164 m^3 天然气和 0.8 m^3 水。据有关专家估计, 27%的陆地面积和大于90%的海洋面积中都蕴藏着丰富的天然气水合物, 储量十分巨大, 达 $2\times 10^{16}\text{ m}^3$, 含碳量大致相当于目前已知的石油、煤炭和天然气资源的两倍。因此, 天然气水合物作为一种非常规的清洁能源越来越引起人们的重视, 被认为是潜在的常规能源的替代品。

天然气水合物勘探现状

天然气水合物勘探方法主要采用地球物理勘探方法和钻探取样技术来完成。显然, 通过地质钻探, 直接钻取天然气水合物矿样是一种最直观、最有效、最准确的方法。通过对矿样的分析和测定, 可以确定天然气水合物的组成, 为评价矿床质量和勘探方法提供重要的依据。

目前, 就全世界范围内来看, 采用钻探取样技术获取天然气水合物矿样的方法主要有两种, 一是分

解抑制法, 二是分解容许法。前者采用一种特制的保压取心装置在经冷却后的钻井液的配合下, 防止水合物层压力的变化和温度的上升, 维持天然气水合物的状态平衡, 以便直接获得天然气水合物的固态岩心; 后者使用未冷却的特殊钻井液体系, 容许天然气水合物汽化进入钻井液, 并通过钻井液的循环带到地面, 再经过特殊的气体分离器装置把天然气水合物分离出来。但这种方法在起下钻等作业时, 为防止天然气水合物的逃逸, 还要进行钻井液体系的转换, 这样易引起钻井过程的其它事故(如: 井涌、井喷等), 还易引起井壁失稳等。由此可见, 分解抑制法既能防止水合物分解, 又能在一定程度上节约钻井液体系转换所耗费的时间和经费, 是一种有较好应用价值的天然气水合物勘探的方法。

天然气水合物勘探钻井液体系

1. 天然气水合物勘探钻井液

以分解抑制法为基础, 国外在天然气水合物勘探中推出的钻井液体系主要有水基和油基两大类, 也有采用泡沫、乙酸丁酯以及氟利昂进行钻井的实践。在采用水基钻井液进行勘探方面, 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的效果。另据报道, 盐和蒙脱土、水解聚丙烯酰胺等组成的钻井

* 本文系中国地质调查局资助项目, 编号: 200120170127。

作者简介: 孙涛, 成都理工大学硕士研究生(在读)。地址: (610059) 四川省成都市东北郊十里店。电话: (028) 84078966。

液也有较好的热力学抑制性能。但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。

2. 维持天然气水合物相态平衡的钻井液体系

不同钻井液体系对天然气水合物的抑制程度是不同的。试验表明,在以 NaCl 为基础的钻井液中添加了 Aqua-Col™S(聚乙二醇)和 EG(聚乙烯乙二醇)之类的有机添加剂,可改善天然气水合物的相态平衡点,其中添加 Aqua-Col™S 的钻井液体系的相态平衡温度为 6℃左右、平衡压力为 9~10 MPa;掺加 KCl 5%的钻井液体系相态平衡温度为 9℃左右、平衡压力为 12 MPa 左右。此外,Na-Formate(甲酸钠)也能有效地提高钻井液体系的相态平衡点,从而抑制天然气水合物的分解。经证实三类无机盐对天然气水合物分解抑制功能强弱依次为:NaCl>KCl>Na-Formate。

天然气水合物勘探钻井液的流变性能

天然气水合物勘探所用水基钻井液体系有别于一般钻井的水基钻井液,这是因为水合物勘探是在较大深度、较高压力的条件下进行的,要求钻井液体系不仅要具备良好的冷却钻头、清洁井底、携带岩屑、稳定井壁和抑制水合物分解的能力,还要在高压低温状况下具有良好流变性能。一般认为,压力对水基钻井液体系的流变性能无显著影响。因此,对天然气水合物勘探所用水基钻井液体系来说要解决的核心问题是如何使其在低温下仍具有良好的流变性能。一般来讲,钻井液属非牛顿流体,其基本流变性能包括表观粘度、塑性粘度、动切力、静切力和触变性。在天然气水合物勘探的低温环境下,钻井液流变性能会受到一定的影响。

1. 表观粘度与塑性粘度

粘度是钻井液性能的重要参数,其主要影响因素包括粘土含量,土粒分散度,粘土颗粒的 ξ 电位、吸附水化膜厚度以及高分子处理剂的类型等等。按照扩散双电层理论,在低温条件下粘土颗粒表面扩散层的阳离子扩散能力减弱,水化膜变薄, ξ 电位下降,水分子渗入粘土内部的能力减弱,粘土颗粒分散度降低,颗粒间摩擦增加,导致钻井液表观粘度与塑性粘度提高,对维护井壁稳定有利。但是,由于粘土表面 ξ 电位变化引起的钻井液粘度的变化,其体系的流变性能是不能满足钻井要求的,为改善钻井液

流变性能,需要在钻井液中需添加合适的高分子聚合物,比较好的应当是分子量适当的线性高分子聚合物。表 1 是低水解度(小于 10%)聚丙烯酰胺在低温(0~10℃)条件下对钻井液粘度的影响。研究表明,加入适量 NaCl 等无机盐除了能有效地降低钻井液体系的冰点外,对钻井液的粘度也有一定的影响,这是因为阳离子的加入能中和粘土颗粒表面负电荷,使粘土颗粒双电层和水化膜变薄, ξ 电位下降,颗粒间相互吸引,形成网架结构,使钻井液体系的粘度增大。表 2 为 NaCl 加量与钻井液粘度之间的关系。

表 1 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(ppm)	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:试验用黄土钻井液的密度为 1.20g/cm³,用漏斗粘度计测定粘度。

表 2 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(mPa·s)	14.4	11.8	23.2	21.6

2. 静切力与动切力

钻井液静切力的大小决定了钻井液静置后悬浮岩屑能力的大小,其影响因素主要有粘土含量、土粒分散度、粘土颗粒 ξ 电位和水化膜厚度。在低温条件下,因粘土颗粒分散度降低,水化膜变薄, ξ 电位降低,粘土颗粒间距减小,相互间吸力增加,粘土颗粒间易形成结构,会引起钻井液静切力的增大。

影响动切力大小的因素与影响粘度的因素有许多相似之处:在低温条件下,粘土颗粒分散度降低, ξ 电位减小,水化膜变薄,粘土颗粒容易以端对端、面对面形式构成较强网架结构,使钻井液动切力增大。研究表明,添加合适的高分子聚合物和一定量无机盐,可提高钻井液动切力和静切力。表 3、表 4 分别

表 3 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(ppm)	100	300	500	700	1000	1500	2000
动切力 (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 4 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	4	7
	终切	4	7

为低温下低水解度(小于 10%)聚丙烯酰胺和 NaCl 与钻井液的动切力、流性指数及静切力的关系。

3. 触变性

受低温的影响,粘土颗粒分散度和颗粒间距较小,停止钻进后钻井液体系会在较短时间内建立起稳定网架结构,对悬浮岩屑有利,但低温下钻井液有较大静切力,开泵时需克服较大阻力,需泵压较高,重新起钻困难。可见钻井液低温下触变性有向着凝聚方向转化的趋势。

综上所述,钻井液在低温下的流变特性表现为:较大表观粘度、塑性粘度、动切力和静切力。这些特征有利于满足水合物勘探中维持井壁稳定和抑制水合物分解。

低温对钻井液密度的影响

据俄罗斯南极冰上钻探实践证实:钻井液密度会随温度的降低而增加。其原因是钻井液受“热胀冷缩”特性控制,低温下其密度必然要发生某些变化。在天然气水合物勘探中,低温除对钻井液密度有上述影响外,还会引起钻井液中粘土颗粒水化膜变薄,颗粒间距减小,导致单位体积颗粒含量增大,也会引起钻井液密度增大。同时,在天然气水合物勘探中钻井液由井底至井口的温度是逐渐升高的,会造成井底与井口钻井液密度的不等,对钻井液整体稳定不利,因此,在进行低温钻井液配方研究时,

要注意钻井液的配方要能使钻井液体系有良好稳定性。

结 论

天然气水合物勘探中,要求钻井液必须能有效抑制水合物分解,维持其相态平衡,同时低温下须有良好流变特性以悬浮岩屑、维持井壁稳定。低温下,钻井液基本流变特性表现为表观粘度、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,加之钻井液密度在钻孔井底与井口的不平衡性,易使钻井液的粘土、岩屑等固相颗粒产生固结沉降,影响到钻井液的流变性能。因此,在进行天然气水合物勘探的低温钻井液体系研究时,务必要注意对有机高分子聚合物和无机盐添加剂的选用,使钻井液体系具有良好流变性能和稳定性。

参 考 文 献

1 黄汉仁等. 钻井液工艺原理. 北京:石油工业出版社,1981
2 汤凤林等. 生产条件下冻钻岩石钻进的试验研究. 探矿工程,2002
3 汤凤林等. 俄罗斯南极冰上钻探技术. 地质科技情报, 1999
4 吴隆杰等. 钻井液处理剂胶体化学原理. 成都:原成都科技大学出版社,1992
5 Ouar H *et al.* The formation of natural gas hydrate in water-based fluids. *ichemE* 1992;70
6 Hege Ebeltoft *et al.* Hydrate control during deep water drilling: overview and new drilling 2. fluids formations. SPE(38567), 1997

(收稿日期 2003-05-16 编辑 钟水清)