

大牛地气田无土相钻井液流变模式优选

张冠军¹, 闫吉曾²

(1. 中国石化集团华北石油局五普钻井分公司, 河南 新乡 453700; 2. 中国石化集团华北分公司工程技术研究院, 河南 郑州 450006)

摘要:大牛地气田无土相钻井液实例计算表明,赫巴模式的相关系数最大,残差平方和最小,其次是卡森模式、幂律模式,最差的是宾汉模式,建议优先选用赫巴模式。

关键词:流变模式;无土相钻井液;赫巴模式;卡森模式;幂律模式;宾汉模式

中图分类号:TE254+.6 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2010)07-0022-03

Rheological Model Optimization of Non-solid Phase Drilling Fluid in Daniudi Gas Field/ZHANG Guan-jun¹, YAN Ji-zeng² (1. Wupu Drilling Company, SINOPEC North China Company, Xinxiang Henan 453700, China; 2. Institute of Engineering Technology, SINOPEC North China Company, Zhengzhou Henan 450006, China)

Abstract: It was showed by the example calculation of non-soil phase drilling fluid in Daniudi gas field that the correlation coefficient of Herschel-Bulkley model was the largest with the smallest residual sum of squares; than was the Casson and power-law model; Bingham model was the worst. Herschel-Bulkley model was suggested.

Key words: rheological model; non-soil phase drilling fluid; Herschel-Bulkley model; Casson model; power-law model; Bingham model

1 无土相钻井液的特点

目前无土相钻井液体系在大牛地气田水平井中应用较多,钻井实践表明,无土相钻井液主要具有以下特点:

(1)可降低钻井液密度,降低井底压力;

(2)抑制性处理剂能很好地抑制地层中粘土的水化分散,抑制粘土的膨胀,减少水敏损害;

(3)加入防水锁剂,降低界面张力,降低水锁和清除滤饼,有很好的防塌抑制性和润滑性,保证钻井的顺利施工,对储层的保护起到很好的作用。

在大牛地气田钻井实践中优选了无土相钻井液等体系,其基本配方为 3% ~ 4.5% TV-2 + 2% ~ 3% 润滑剂 + 0.3% ~ 0.5% XC + 2% ~ 3% HCOOK + 3% ~ 5% 防水锁剂。下面以 DP10 井为例来优选无土相钻井液流变模式。

2 DP10 井概况

DP10 井位于陕西省榆林地区,是中国石化集团华北分公司部署的一口水平井,设计井深 4287.37 m,主要目的层为二叠系山西组山一段。一开、二开、三开钻头尺寸、井深及应用钻井液体系等情况见表 1。

表 1 DP10 井井身结构及钻井液体系

井身结构	钻头尺寸/in	井深/m	钻井液体系
一开	17½	302	普通聚合物钻井液体系
二开	12¼	3042	天然高分子钻井液体系
三开	8½	4246	无土相钻井液体系

3 流变模式及常规流变参数计算

常用的钻井液流变模式有宾汉模式、幂律模式、卡森模式、赫巴模式等。钻井液流变模式的选择,对于计算摩阻、压降,优化水力参数,都有非常重要的意义。目前,现场一般选用宾汉模式或幂律模式进行流变计算。

3.1 宾汉模式

$$\tau = \tau_0 + 1 \times 10^{-3} \mu_p \gamma$$

常规计算方法: $\mu_p = (\theta_{600} - \theta_{300})$

$$\tau_0 = 0.511(\theta_{300} - \mu_p)$$

3.2 幂律模式

$$\tau = K\gamma^n$$

常规计算方法:

钻杆内: $n_p = 3.32 \lg(\theta_{600}/\theta_{300})$

$$K_p = (0.511\theta_{300})/511^{n_p}$$

环空: $n_a = 0.657 \lg(\theta_{100}/\theta_3)$

$$K_a = (0.511\theta_{100})/170.2^{n_a}$$

收稿日期:2010-02-26; 修回日期:2010-06-07

作者简介:张冠军(1964-),男(汉族),河北新乐人,中国石化集团华北石油局五普钻井公司经理助理、安全环保部主任、钻井工程师,石油工程专业,从事钻井现场技术工作,河南省新乡市洪门。

3.3 卡森模式

$$\tau^{1/2} = \tau_c^{1/2} + (1 \times 10^{-3} \mu_\infty)^{1/2} \gamma^{1/2}$$

常规计算方法:

$$\tau_c^{1/2} = 0.493[(6\theta_{100})^{1/2} - \theta_{600}^{1/2}]$$

$$\mu_\infty^{1/2} = 1.195(\theta_{600}^{1/2} - \theta_{100}^{1/2})$$

3.4 赫巴模式

$$\tau = \tau_{HB} + K\gamma^n$$

常规计算方法: $\tau_{HB} = 0.511\theta_3$

钻杆内: $n_p = 3.32 \lg[(\theta_{600} - \theta_3)/(\theta_{300} - \theta_3)]$

$$K_p = 0.511(\theta_{300} - \theta_3)/511^{n_p}$$

环空: $n_a = 3.26 \lg[(\theta_{200} - \theta_3)/(\theta_{100} - \theta_3)]$

$$K_a = 0.511(\theta_{100} - \theta_3)/170.2^{n_a}$$

式中: τ —— 剪切应力, Pa; γ —— 剪切速率, s^{-1} ; τ_0 —— 屈服值, Pa; μ_p —— 塑性粘度, $mPa \cdot s$; K —— 稠度系数, $Pa \cdot s^n$; n —— 流性指数; τ_c —— 卡森屈服值, Pa; μ_∞ —— 极限高剪切粘度, $mPa \cdot s$; τ_{HB} —— 赫谢尔-巴尔克莱屈服值, Pa; $\theta_3, \theta_{100}, \theta_{200}, \theta_{300}, \theta_{600}$ —— 分别为 Fann35A 范氏粘度计 3、100、200、300、600 r/min 的读数。

4 非线性回归法优选流变模式

以上常规的计算方法在现场广泛应用,其特点是简便易用。但随着应用数理统计和计算机广泛应用于钻井工程设计,根据数学方法,完全可以最大程度的利用实验数据,减小计算误差,从而更加准确地进行流变参数的计算,也就是回归法。

本文利用非线性回归的 LMF (Levenberg-Marquardt-Fletcher) 法,通过计算流变参数、相关系数、残差平方和,从而更准确、科学的选择流变模式。

假设钻井液流变方程为:

$$\tau = f(\gamma) \tag{1}$$

式中: τ —— 剪切应力, Pa; γ —— 剪切速率, s^{-1} 。

假设实测数据为 $(\tau_1, \gamma_1), (\tau_2, \gamma_2), (\tau_3, \gamma_3), \dots, (\tau_N, \gamma_N)$, 由于实验误差的存在,由式(1)得到:

$$\tau_i = f(\gamma_i) + \varepsilon_i \quad (i=1, 2, 3, \dots, N) \tag{2}$$

式中: ε_i —— 实验误差, 满足正态分布的随机变量。

定义目标函数为:

$$F(n, K, \tau_0) = \sum_{i=1}^N \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^N [\tau_i - f(\gamma_i)]^2 \tag{3}$$

然后通过非线性回归法求 $\hat{\tau}_0, \hat{n}, \hat{K}$ 等流变参数,使 $\min[F(n, K, \tau_0)]$ 。为了对结果进行统计分析,引入几个统计量:

拟合残差:

$$\xi_i = \tau_i - f(\gamma_i) \tag{4}$$

残差平方和:

$$RSS = \sum_{i=1}^N \xi_i^2 \tag{5}$$

相关系数:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (\tau_i - \bar{\tau})(\gamma_i - \bar{\gamma})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (\tau_i - \bar{\tau})^2 \sum_{i=1}^N (\gamma_i - \bar{\gamma})^2}} \tag{6}$$

通过现场实测数据进行计算,相关系数越大,残差平方和越小,其流变方程越符合钻井液实际情况,这也是优选流变模式的标准。为计算流变参数、相关系数、残差平方和,利用 VB 和 MATLAB 分别编制了相应的计算软件。

5 DP10 井计算实例

限于篇幅,只计算部分代表性数据。实测数据如表 2,计算结果见表 3~6。

表 2 DP10 井实测六速旋转粘度计读数

样本序号	井深/m	θ_{600}	θ_{300}	θ_{200}	θ_{100}	θ_6	θ_3
1	3256.00	55	41	31	21	12	7
2	3485.98	58	41	30	21	13	7
3	3760.79	62	45	35	24	14	7
4	4209.30	66	45	35	25	14	6

表 3 样本 1 计算结果

宾汉模式	表观粘度 AV / (mPa·s)	塑性粘度 PV / (mPa·s)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	29.5078	23.4620	6.1750	22.5416	0.9735
幂律模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 / (Pa·s ⁿ)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.4358	1.3394		12.2997	0.9874
卡森模式	卡森粘度 / (mPa·s)	卡森屈服值 / Pa	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	11.3338	3.9350		6.5432	0.9924
赫巴模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 / (Pa·s ⁿ)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.6228	0.3342	3.4925	4.8109	0.9944

表 4 样本 2 计算结果

宾汉模式	表观粘度 AV / (mPa·s)	塑性粘度 PV / (mPa·s)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	30.5366	24.6344	6.0284	15.7617	0.9830
幂律模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 / (Pa·s ⁿ)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.4666	1.1263		19.4400	0.9825
卡森模式	卡森粘度 / (mPa·s)	卡森屈服值 / Pa	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	12.3303	3.7206		5.8236	0.9937
赫巴模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 / (Pa·s ⁿ)	屈服值 / Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.7149	0.1818	4.1700	5.6420	0.9939

表5 样本3 计算结果

模式	表观粘度 AV /($mPa \cdot s$)	塑性粘度 PV /($mPa \cdot s$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
宾汉模式	33.1052	26.3675	6.8818	28.2847	0.9737
幂律模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 /($Pa \cdot s \hat{n}$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.4366	1.4945		15.0079	0.9878
卡森模式	卡森粘度 /($mPa \cdot s$)	卡森屈服 值/Pa	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	12.7840	4.3747		8.1388	0.9926
赫巴模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 /($Pa \cdot s \hat{n}$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.6202	0.3823	3.8413	6.1516	0.9943

表6 样本4 计算结果

模式	表观粘度 AV /($mPa \cdot s$)	塑性粘度 PV /($mPa \cdot s$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
宾汉模式	34.7535	28.3470	6.5434	25.0937	0.9796
幂律模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 /($Pa \cdot s \hat{n}$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.4746	1.2135		17.3243	0.9880
卡森模式	卡森粘度 /($mPa \cdot s$)	卡森屈服 值/Pa	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	14.5092	3.9887		7.2741	0.9942
赫巴模式	流性指数 (无量纲)	稠度系数 /($Pa \cdot s \hat{n}$)	屈服值 /Pa	残差平方和 RSS	相关系数 R
	0.6649	0.2983	3.8561	6.6477	0.9946

6 结论

从计算结果来看,赫巴模式的相关系数最大,残差平方和最小,其次是卡森模式、幂律模式,最差的是宾汉模式。因此,在提高计算精度的情况下,建议大牛地气田无土相钻井液优先选用赫巴模式。

参考文献:

- [1] 薛毅. 最优化原理与方法[M]. 北京:北京工业大学出版社, 2001.
- [2] 胡茂焱,尹文斌,郑秀华,等. 钻井液流变参数计算方法的分析及流变模式的优选[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2004, 31(7):41-45.

“中国地质调查局深部地质钻探技术培训交流会”在安徽黄山举办

本刊讯 由中国地质调查局主办,中国地质科学院勘探技术研究所、中国地质学会探矿工程专业委员会承办,安徽省地质学会、安徽省地矿局 332 地质大队协办的“中国地质调查局深部地质钻探技术培训交流会”于 2010 年 7 月 4~9 日在安徽省黄山市举办。来自全国各地的地质钻探领域的 160 多位技术人员参加了培训交流。

培训交流会由中国地质科学院勘探技术研究所地调科研处冉恒谦处长主持,中国地质调查局科技外事部李志忠处长、中国地质学会探矿工程专业委员会王达主任、安徽省地矿局方达副局长、中国地质科学院勘探技术研究所张金昌副所长、中国地质科学院矿产资源研究所张佳文副所长、安徽省地质学会柏林秘书长、安徽省地矿局 332 地质队马中伟队长到会并讲话。

本次“深部地质钻探技术培训交流会”是中国地质调查局 2010 年培训计划的内容之一,目的是推广应用我国自主研发的仪器、设备、器具和工艺方法,促进我国地质调查和地质找矿对高新技术使用效率和使用水平进一步提高。

钻探技术是勘查技术的核心之一,是目前深部地下信息推断与解释的唯一验证手段,也是最终圈定矿体、计算储量、评估品位唯一的技术手段。深部地质钻探研究非常重要,不可缺少。研发深部地质岩心钻探关键技术与装备无论是提升我国的钻探技术水平还是满足资源勘探的迫切需求都是非常必要的;对缓解目前资源短缺制约我国经济发展的“瓶颈”、发现新的矿产地、拓展新的找矿空间实现资源可持续发

展意义重大。

本次培训交流会恰逢国家“十二五”计划立项关键时期召开。当前,深部找矿已经成为地质找矿工作的重点。在深部找矿过程中,除了利用更成熟的地质理论和更先进的物化探方法、遥感技术等探测技术,最终还需要使用钻掘(探)技术来取心取样,证实推断和探测的正确性。随着勘探深度的增加,对钻探技术提出了更高的要求,特别是对钻探设备、钻探机具、泥浆技术等关键技术提出了新的要求,这就需要创造必要的研究条件对关键技术进行攻关,同时重视对专业技术人员的培训、交流,只有这样,钻探技术才能满足深部矿产资源勘探的需要。

王达、张伟、孙建华、朱恒银、苏长寿、王年友、朱永宜、陶士先、李子章、谢文卫等 10 位专家教授就地质岩心钻探标准化的若干技术要点、汶川地震断裂带科学钻探、2000 米全液压岩心钻探技术装备集成示范、深部矿体勘探钻探技术研究、深孔液动潜孔锤钻进技术、绳索取心钻探及事故处理技术、复杂地层取心技术、深部钻探钻井液设计、地质钻探金刚石钻头、地质钻探成果梳理等专题分别进行了深入的讲解,基本上涵盖了深部地质钻探的主要内容,既有综合报告、又有专题报告,既有最新的科研成果、又有专家们长期积累的实践经验。希望通过本次培训交流,能有助于地质钻探新技术新方法的推广应用,有助于提高我国地质钻探技术的应用水平。