钻井工艺

高温高压超深井钻井液密度设计方法探讨

孙 凯[1],李 黔[1],潘仁杰[2]
(1 西南石油大学 2 新疆石油管理局)

孙 凯等. 高温高压超深井钻井液密度设计方法探讨. 钻采工艺,2009,32(2):1-2

摘 要:在高温高压超深井的钻探中,由于形成了相对较窄的钻井液安全密度窗口,同时钻井液的密度受温度和井筒压力的影响比较大,地面所配置的钻井液密度和井筒中钻井液密度不同,因此,必须准确的计算并控制钻井液的密度,确保超深井的安全施工。在前人研究基础上,基于超深井中温度和压力对当量静态钻井液密度的影响建立了模型,并对莫深1井的钻井液密度进行了设计分析,研究了井底压力系数和井筒温度对当量静态钻井液密度的影响。

关键词:超深井;高温高压;地层压力系数;钻井液密度;莫深1井

中图分类号:TE 254+.6 **文献标识码**:A **文章编号**:1006-768X(2009)02-0001-02

在高温高压超深井的钻探中,由于形成了相对较窄的钻井液安全密度窗口,同时钻井液的密度受温度和井筒压力的影响比较大,地面所配置的钻井液密度和井筒中钻井液密度不同,高温高压条件下钻井液精确的密度预测模型,准确地确定出钻井液密度在高温高压井中沿井深的变化规律,从而使井眼静态压力的预测和当量钻井液密度的计算误差控制在很小的范围内[1]、[4]、[6]。本文的计算模型主要参照了汪海阁和鄢捷年提出的预测模型。基于超深井中温度和压力对当量静态钻井液密度(以下简称ESD)的影响建立了模型,并经过对莫深1井的计算分析,研究了井底压力系数和井筒温度对ESD的影响。从而对确保超深井的安全施工及对钻井井控的研究,具有重要的工程实际意义。

一、模型建立

本文采用钻井液密度的经验模型,认为在高温高压下,钻井液密度服从如下的变化规律[2]~[8]:

$$\rho_{m0}=\rho_m/e^{a(P-P_0)-b(T-T_0)+c(T-T_0)^2} \tag{1}$$

式中:P_0,T_0—测定地表钻井液密度 ρ_{m0} 时的温度和压力,分别为0.1MPa和20℃;a、b、c—钻井液特性常数。

由式(1)可知,存在一个临界井深 H_c(相对应的是临界温度 T_c 和压力 P_c),使得在该井深处,温度和压力对钻井液密度的影响互相抵消,即 $\rho_m=\rho_{m0}$,从而可得临界井深为:

$$H_c=\frac{b(T_c-T_0)-c(T_c-T_0)^2}{a\rho_{m0}K}-\frac{P_1-P_0}{a\rho_{m0}K} \tag{2}$$

式中:K—计算压力时的系数。

$$K=ge^{\gamma_P(P-P_0)+\gamma_{PP}(P-P_0)^2+\gamma_T(T-T_0)+\gamma_{TT}(T-T_0)^2+\gamma_{PT}(P-P_0)(T-T_0)} \tag{3}$$

若 $P_0=P_1$,则可得到临界钻井液温度和井深 H_c 间的关系为:

$$T_c-T_0=\frac{b\pm\sqrt{b^2-4ac\times H_c\times\rho_{m0}\times K}}{2c} \tag{4}$$

式中:P_1,T_1—分别为地表压力和地表温度。

由于钻井液液柱的温度和压力都是随着井眼深度的增加而增加,所以钻井液获得两个相互对立的效果,温度增加时由于热膨胀使得钻井液密度降低,而压力增加时则因压缩性而使钻井液密度增加。对特定的温度分布,这两个对立的效果则相互抵消,这种情况被定义为常密度温度分布(CDTP)。当温度符合CDTP时,随井深的增加钻井液密度保持不变。如果井底真实钻井液温度大于CDTP,则钻井液密度就小于地面时的密度,热膨胀占支配地位。如果井底真实钻井液温度小于CDTP,则钻井液密度就大于地面时的密度,压缩效应占支配地位。若已知常密度温度分布(CDTP),可将其与井下的真实温度分布比较,立即显示出是热膨胀占主导地位还是压缩性占主导地位[1]。

收稿日期:2008-10-20

作者简介:孙凯(1984-),西南石油大学硕士研究生,研究方向为油气井工程。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学研究生07级油气井工程3班,电话:13540750619,E-mail:skjssmc@163.com

由于井底液柱压力 P 又是钻井液密度函数，所以不能直接求解，对环空中的微元体分析可以得

$$\frac{dp}{dh} = K \times \rho_m \tag{5}$$

假设环空钻井液静态温度随井深线形增加，即：

$$T = T_0 + g_G h \tag{6}$$

由式(1)、式(5)和式(6)，并设 $P_1 = P_0$，积分可得钻井液随井深变化的静态液柱压力分布：

$$P - P_0 = \frac{1}{a} \times \ln\left[\frac{1}{1 - F(h)}\right] \tag{7}$$

其中：$F(h) = aK\rho_{m0}\int_0^h e^{[c \times (g_G h)^2 - b \times g_G h]} dh$ (8)

定义当量静态钻井液密度 ESD 为：

$$\mathrm{ESD} = \frac{P - P_0}{K \times h} \tag{9}$$

高温高压井中 ESD 沿井深分布规律：

$$\mathrm{ESD} = \frac{1}{aKh} \times \ln\left[\frac{1}{1 - F(h)}\right] \tag{10}$$

二、莫深 1 井的计算及结果分析

莫深 1 井位于新疆准噶尔盆地中央坳陷莫索湾凸起莫索湾背斜，是目前准噶尔盆地最深的超深井。莫深 1 井设计井深 7 500 m，地表温度为 25 ℃，压力附加值为 3 MPa，使用水基钻井液。经计算知，此时井底压力为 140.556 MPa，地面设计钻井液密度为 1.989 g/cm^3，ESD 为 1.941g/cm^3（见表 1）。

表 1 不同地层压力梯度下各参数的对比（180℃）

地层压力梯度	井底压力（MPa）	ESD（g/cm^3）	地面设计钻井液密度（g/cm^3）
1.9	139.556	1.928	1.975
1.95	143.176	1.978	2.026
2.0	146.796	2.028	2.078
2.05	150.416	2.078	2.129
2.1	154.035	2.128	2.18
2.15	157.655	2.178	2.231
2.2	161.275	2.228	2.283
2.25	164.895	2.278	2.334
2.3	168.515	2.328	2.385

由图 1 知，在考虑温度影响的情况下，钻井液的密度由井口的 1.99 g/cm^3 下降到井底的 1.93 g/cm^3，但在不考虑温度影响的情况下，钻井液密度从井口到井底始终保持在1.94 g/cm^{3}不变。

由图 2 知，井筒压力从井口到井底成线形递增，在考虑温度影响和不考虑温度影响下的两种情况的对比可知，温度对井筒压力的影响不大。

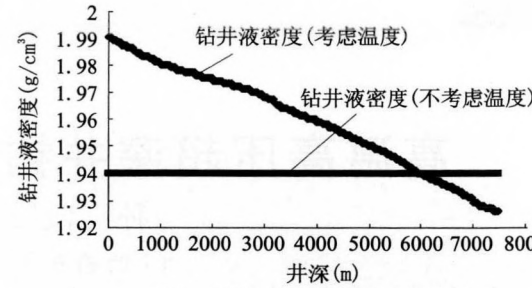

图1 温度对钻井液密度的影响

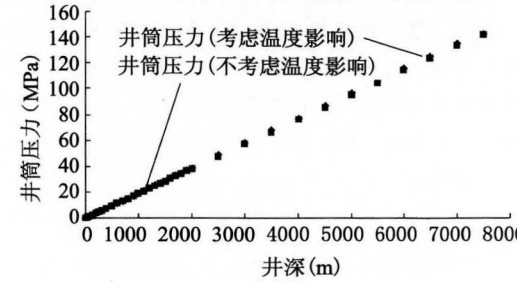

图2 温度对井筒压力的影响

三、结论

(1)钻井液密度受井筒温度和压力的影响较大，必须考虑超深井中的温度和压力，本文设计的方法考虑了地层压力和井筒温度对 ESD 的影响及测试温度沿井深的分布情况，更好地用于井控研究。

(2)井底压力对 ESD 的影响显著，且随着井底压力的增加，ESD 也增加。

(3)温度对 ESD 的影响也大，随着温度的增加，ESD 减小，但温度对井筒压力的影响较小。

参考文献

[1] 张金波，鄢捷年. 高温高压钻井液密度预测新模型的建立[J]. 钻井液与完井液，2006，23(5)：1－3.

[2] 汪海阁，刘岩生，等. 高温高压井中温度和压力对钻井液的影响[J]. 钻采工艺，2000，23(1)：56－60.

[3] 鄢捷年，李志勇，等. 深井油基钻井液在高温高压下表观粘度和密度的快速预测方法[J]. 石油钻探技术，2005，33(5)：35－38.

[4] 王景新，王培良(译). 温度和压力对钻井液流变性的影响[J]. 国外油田工程，1998：27－28.

[5] 高德利，等. 复杂地质条件下深井超深井钻进技术[M]. 北京：石油工业出版社，2004：190－224.

[6] Kemp N P. Density Modeling for Pure and Mixed－Salt Brines as a Function of Composition, Temp－erature and Pressure[J]. SPE 160791.

[7] Babu D R. Effect of mud behavior on static Press－ure during deep well drlling[J]. SPE Drilling &Com－pletion, 1996(6).

（编辑：黄晓川）