

气体钻井计算模型及应用软件的编制

翟洪军, 王洪英

(大庆石油管理局钻探集团钻井工程技术研究院, 黑龙江 大庆 163413)

摘要: 气体钻井技术因其钻速快等优点得到广泛的应用, 是水平井钻井技术之后另一个钻井技术发展热点。介绍了气体钻井计算模型的建立及其应用软件的编制, 结合现场实践, 对气体钻井理论模型进行了分析。

关键词: 气体钻井; 空气钻井; 计算模型; 应用软件

中图分类号: TE242.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2007)01-0047-03

Calculating Model for Gas Drilling and the Applied Software Programming/ZHAI Hong-jun, WANG Hong-ying
(Daqing Drilling Engineering Technical Research Institute, Daqing Heilongjiang 163413, China)

Abstract: Gas drilling has been used extensively because of its high penetration rate and some other advantages, it becomes another hot developing technology after horizontal well drilling. The paper introduces the establishment of calculating model for gas drilling and the programming of the applied software, and analyzes the model for gas drilling theory with field cases.

Key words: gas drilling; air drilling; calculating model; applied software

气体钻井是用气体作循环介质的一种低压钻井技术, 常用的气体有空气、天然气、柴油机尾气、氮气等。具有提高钻速、克服井漏、防止水敏性泥页岩坍塌等特点, 是开发低压低渗油气田行之有效的办法。与常规钻井技术相比, 气体钻井的实施具有更大的难度, 而其水力学模型正是该技术的重点和难点, 其计算结果是否精确将直接关系到施工作业的成败。

1 水力参数的计算

环空多相流体力学是欠平衡环空水力学的一个新领域, 它研究气体、液体与固相多相介质在环空中共同流动条件下的流动规律。多相介质与单相介质不同, 存在着相的分界面。多相的分布状况是多种多样的, 有着不同的分布状态。流动型态的不同, 不但影响多相流动的力学关系, 而且影响其传热和传质性能, 因而使得环空气液多相流动的研究变得复杂了。因此我们对多向流情况下的压降、钻井液携屑能力进行推导和分析。

1.1 压降计算多相管流的基本方程

1.1.1 质量守恒方程

$$(\partial/\partial t) \sum_j X_{ji} \rho_j E_j + (\partial/\partial s) \sum_j X_{ji} \rho_j E_j v_j \quad (1)$$

式中: n ——混合物流体各相相数总和; i, j ——多相流中的 i, j 相; X_{ji} ——第 i 相在第 j 相中的质量分数。

对于气液两相流变为:

(1) 气相

$$\frac{\partial}{\partial t} (X_{lg} \rho_l \varepsilon_l + X_{gg} g \rho_g \varepsilon_g) + \frac{\partial}{\partial s} (X_{lg} \rho_l \varepsilon_l v_l + X_{gg} \rho_g \varepsilon_g v_g) = 0 \quad (2)$$

式中: ε_l ——液相压强比; ε_g ——气相压强比。

(2) 液相

$$\frac{\partial}{\partial t} (X_{ll} \rho_l \varepsilon_l + X_{gl} g \rho_g \varepsilon_g) + \frac{\partial}{\partial s} (X_{ll} \rho_l \varepsilon_l v_l + X_{gl} \rho_g \varepsilon_g v_g) = 0 \quad (3)$$

1.1.2 动量守恒方程

$$\frac{\partial}{\partial t} A \sum_j \rho_j \varepsilon_j v_j + \frac{\partial}{\partial s} \sum_j \rho_j \varepsilon_j v_j^2 + Ag \cos \theta \sum_j \rho_j \varepsilon_j + \frac{\partial}{\partial s} AF = 0 \quad (4)$$

对于两相:

$$(\partial/\partial t) (A \rho_l \varepsilon_l V_j + \rho_g \varepsilon_g V_g) + (\partial/\partial s) A (\rho_g \varepsilon_g V_g^2 + Ag \rho_l \varepsilon_l + \rho_g \varepsilon_g \cos \theta) + (\partial/\partial s) AF \quad (5)$$

1.2 充气钻井液携屑能力

1.2.1 岩屑的下降速度

平衡下降速度

$$V_0 = \sqrt{4gD(\rho_g - \rho_m)/(3\rho_m C_d)} \quad (6)$$

式中: C_d ——沉降系数, 0.8 ~ 1.0。

1.2.2 充气液的有效上返速度 v_m

(1) 泡状流

$$v_m = v_{sl} + v_{sg} \quad (7)$$

(2) 段塞流

收稿日期: 2006-08-23; 改回日期: 2006-12-29

作者简介: 翟洪军(1963-), 男(汉族), 黑龙江人, 大庆石油管理局钻探集团钻井工程技术研究院高级工程师, 石油工程专业, 从事钻井工艺技术和欠平衡钻井及空气钻井工艺技术研究, (0459)4980150, 黑龙江省大庆市八百垅。

$$v_m = v_{s1} \quad (8)$$

(3) 过渡流

$$v_m = v_l (1 - E_g)^{1.2} \quad (9)$$

式中: v_l ——单位质量流体中的液体体积。

(4) 环雾流

$$v_m = v_g E_g \quad (10)$$

(5) 空气钻井的沉降临界速度

$$v_t = \sqrt{4gd_c(\rho_c - \rho_f)/(cC_d\rho_f)} \quad (11)$$

式中: v_g ——单位质量流体中的气体体积; d_c ——粒子直径; C_d ——沉降系数; ρ_c ——岩屑密度; ρ_f ——流体密度。

的分析和计算。

2.1 当量密度和实际密度随井深的变化(见图 3、图 4)

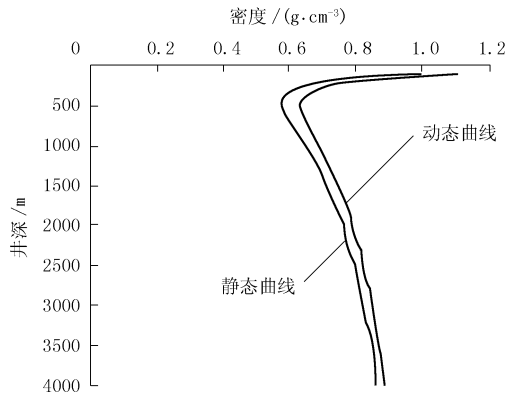


图 3 当量密度 - 井深曲线图

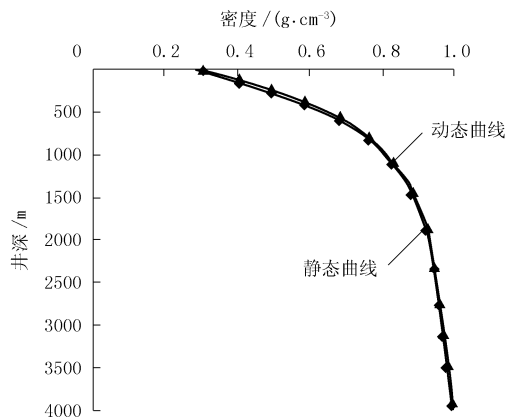


图 4 实际密度 - 井深曲线图

2 多项流计算模型建立及软件编制

通过水力计算模型编制了充气钻井水力计算软件。软件包括计算模块、分析模块、优化模块。

输入界面包括项目、井眼参数、管柱参数、地层参数、实钻参数和分析参数,见图 1、图 2。

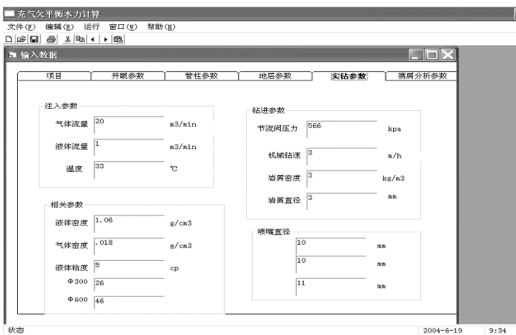


图 1 输入界面之一



图 2 输入界面之二

该软件主要包括动态水力参数计算、静态水力参数计算和压耗计算。动态水力计算包括计算不同井深管内压力、密度、流速、压耗、环空压力、当量密度、实际密度、返速、孔隙率、岩屑升速、流态和欠压值;静态水力计算包括压力、当量密度、孔隙率、实际密度、岩屑下沉速度和静欠压值;压耗计算包括内压耗、外压耗钻头压降和泵压。软件能满足不同工况

2.2 当量密度计算分析(见图 5、6)

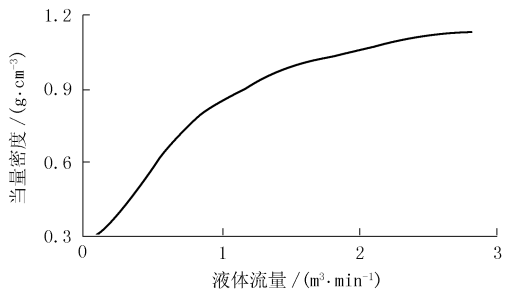


图 5 液体流量对当量密度的影响(井深 1000 m)

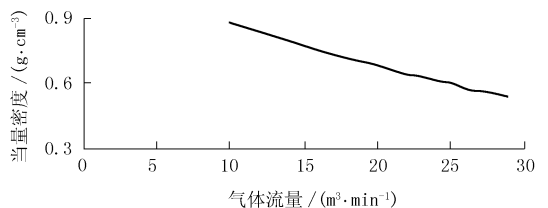


图 6 气体流量对当量密度的影响(井深 1000 m)

3 软件与模型的矫正

3.1 输入参数

为了对模型进行校正,我们收集了达深 2 井和徐深 5 井的相关数据,由于井深、注入温度、排量和入口密度为主要相关的变化因素,所以以井深、注入温度、排量和入口密度作为输入参数,利用软件模型进行计算,部分输入数据见表 1。

3.2 结果及分析

根据所输入的数据,利用软件进行计算,计算出

表 1 徐深 5 号井输入参数

井深/m	排量 /(m ³ ·min ⁻¹)	注入温度 /°C	入口密度 /(g·m ⁻³)	套压 /MPa
3354.103	1.69	55.49	0.888	0
3471.43	1.69	60.88	0.878	0
3500	1.71	65.51	0.881	0
3700	1.69	66.06	0.94	0
3777.438	1.71	70.15	0.982	0.35

动态环空压力和静态环空压力及其压耗,结果见表 2。

表 2 徐深 5 号井计算、实测结果及误差分析表

井深/m	静态环空压力			动态环空压力			压耗		
	计算值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%	计算值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%	计算值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%
3354.103	29.61	30.51	3.04	31.01	32.12	3.58	1.4	1.61	21
3471.43	29.61	31.59	6.69	31.07	33.64	8.27	1.46	2.05	59
3500	29.97	33.22	10.8	31.44	35.88	14.1	1.47	2.66	119
3700	34.43	38.8	12.7	35.96	40.82	13.5	1.53	2.02	49
3777.438	36.53	38.44	5.23	38.48	42.07	9.33	1.95	3.63	168

从表 2 可以看出,计算的环空压力比实测值偏小,其原因可能有以下几点:

(1) 由于液体是有一定的可压缩性的,水包油钻井液比水基钻井液更多一些,所以在井下时钻井液的实际密度比地面密度大,所以用入口密度计算出来的结果会偏小。(2) 由于钻井液中存在气泡,使入口测量密度比钻井液液密度小,所以计算值会偏小。

3.3 校正

上述差别并不影响模型的通用模式,而是影响模型中系数的取值,因此可以进行适当的校正。以实测值为纵坐标,以计算值为横坐标作散点图进行回归分析,得到关系式为:

$$P_{\text{实测静压}} = 1.1476 P_{\text{计算静压}} - 2.0389。$$

$$P_{\text{实测动压}} = 1.2415 P_{\text{计算动压}} - 4.4083。$$

修正后的压力值及误差见表 3。

表 3 徐深 5 号井校正结果

序号	井深/m	静态环空压力			动态环空压力			压耗		
		校正值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%	校正值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%	校正值/MPa	实测值/MPa	相对误差/%
1	3354.103	31.94	30.51	4.48	34.09	32.12	5.78	2.52	1.61	36.1
8	3471.43	31.94	31.59	1.1	34.17	33.64	1.54	2.63	2.05	22
9	3500	32.35	33.22	2.67	34.62	35.88	3.63	2.65	2.66	0.53
13	3700	37.47	38.8	3.54	40.24	40.82	1.45	2.75	2.02	26.7
15	3777.438	39.88	38.44	3.62	43.36	42.07	2.99	3.51	3.63	3.42

4 升深 2-17 井充气钻井试验

升深 2-17 井位于松辽盆地北部东南断陷区徐家围子断陷带北翼斜坡带升平-兴城构造。三开设计井深为 3381 m,其目的层位为营城组、登娄库组。

2005 年 6 月 24 日~7 月 16 日在三开的 2517~3150 m 井段进行了充气钻井现场试验。在登娄库组,主要开展不同气液比提高钻井速度试验,气液比 12:1~20:1,平均机械钻速提高 64%;该井充气钻井实现了钻进过程中点火成功,即实现了欠平衡钻井。地层出气量在 11000 m³/h,试验过程中利用了井底压力测试技术,气体水力学计算软件计算结果和实测数据对比误差 <3%;充气基液采用了络合

铝复合离子水基充气钻井液体系,现场试验表明,充气井段井眼稳定,携屑性能好,满足脱气要求。

5 结论与认识

(1) 通过水力计算模型编制的充气钻井水力计算软件包括计算模块、分析模块、优化模块。

(2) 校正结果与实测结果有良好的相关性,静压和动压平均误差 <3%,符合率很高,说明软件计算所用模型正确,软件具有工程使用价值,所校正的模型适合大庆地区充气钻井的压力预测。

(3) 通过现场试验,误差 <3%,证明该软件目前已达到了工程应用的水平,为进一步开展充气欠平衡钻井提供了有效的帮助。