

钻井泥浆动失水仪及初步试验

李淑廉 胡三清 章贻俊 孙天锡

(江汉石油学院)

内容提要 本文介绍钻井泥浆动失水仪的研制及其主要作用,它是模拟钻井过程中泥浆向地层渗滤情况的装置。通过试验提出了有关泥浆动失水的新概念,为优选保护油气层钻井液,提供了测试手段和研究方向。

泥浆失水过程主要是在流动状态下进行的,泥浆的实际过滤介质是油气层(而不是滤纸),因此,研究泥浆在流动状态下向油气层的渗滤,求得控制滤液或固相,减轻堵塞地层的措施。故我们在接受泥浆对产层的影响这一研究课题以后,便着手解决泥浆动失水测定的方法,设计研制了模拟钻井泥浆侵入岩层的动失水仪,并进行了初步试验。

泥浆动失水的概念及仪器研制概况

我们在研究设计中,将钻井过程中始终存在的比较有规律的泥浆流速冲刷作用和压差作为主要的影响因素来进行模拟。若测出动失水参数,对井下实际渗滤过程的认识将会大大提高一步。

2056.03~2304.75m,进尺248.72m,将方位扭至145°,即向左扭47°。考虑下部钻井段的方位漂移,故多扭5°。钻至完钻井深3039.00m时,井斜角33°,方位角152°,全井闭合方位170.2°。说明以上控制方法对扭方位和待钻井眼的方位漂移率的控制是有效的。

中—54井设计方位75°,井眼方位与地层走向之间的夹角为33°。在开始的定向施工中,考虑了5°的方位漂移,将方位定向为70°。当钻至井深804.90m,井斜角17°45',方位角82°,在804.90~1337.34m井段,用螺杆钻具带弯接头共六次向左扭方位,将方位扭至70°后,换用稳定器组合钻进至井深2157.87m,井斜角59°50',方位角漂移至91°(见图1)。至第七次扭方位,从井深

2157.87~2358.89m,进尺201.02m,将方位扭至61°,向左扭方位30°。考虑扭方位后下部钻井段的方位漂移较中—48井的方位漂移大,故多扭11°。当钻至井深3143.00m时,井斜角49°,方位角81°,全井闭合方位为77.3°。其准确度较中—47井及中—48井差,原因为考虑下部井段的方位漂移量不足。

从以上两口井的扭方位过程,不难看出方位漂移对井眼轨迹及井身质量影响的严重。若能掌握并正确的应用方位漂移规律,便能对井眼轨迹进行控制,提高其井身质量及准确度,减少扭方位工作量。

通过中坝丛式井施工,认为该构造定向斜井段的方位漂移角值,一般取20°为宜。

(本文收到日期 1986年5月14日)

国外虽早在五十年代就开始在模拟钻井装置上进行泥浆动失水研究工作,但装置比较笨重,不便维修操作,用泥浆量多,试验周期较长。

我们设计动失水仪着眼于装置简单化,突出泥浆对油层的压差及泥浆流速对井壁的冲刷速梯这两个主要参数。用旋转粘度计的原理模拟流速梯度,既能模拟井下影响泥浆动失水的主要参数,又能使测试手段仪器化。图1为仪器示意图。

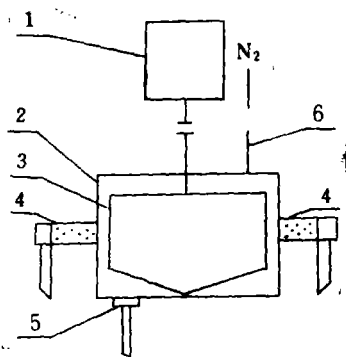


图1 动失水仪示意图

- 1.电机 2.外筒 3.内筒 4.岩心 5.滤纸
6.压控

仪器最高压差为10MPa,相对滤器表面产生的速梯范围在 $0\sim 500\text{S}^{-1}$ 之间自由变换,电机功率246W,用泥浆2.2l,底部装有滤纸过滤孔,侧壁有2个岩心滤孔,可装岩心长3~18cm。既可测得泥浆在滤纸上的动、静失水量,又能在不同渗透率的岩心上测得动、静失水数据,还可以和油层渗透率测定仪结合,进行岩心渗透率恢复值的测定,观察泥浆侵入深度。已取得64次153组数据,规律性较好,性能基本上达到设计要求。

泥浆的动、静失水规律 及其比较

我们在动失水仪上,用美制908号滤纸

测定泥浆动、静失水量的结果表明,它们具有完全不同的规律,互相之间亦无固定的联系。

1.动、静失水规律

泥浆的静失水在初始失水以后,遵循达西定律。随着泥饼不断增厚,瞬时失水量将逐渐降低,静失水速率~时间关系曲线为随时间延长而失水速率下降,如图2。

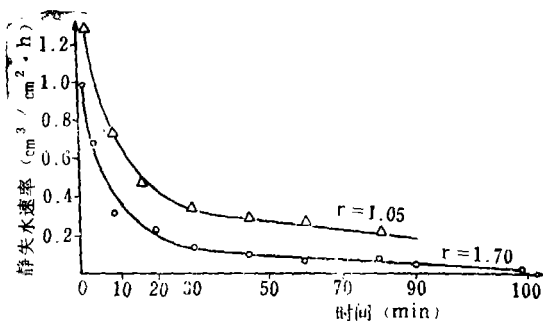


图2 静失水速率与时间关系

测动失水时泥浆以一定流速运动,冲刷泥饼,使泥饼的生成有限度。至某刻,动失水速率保持恒定值。不同速梯(D)下泥浆的动失水变化曲线见图3。

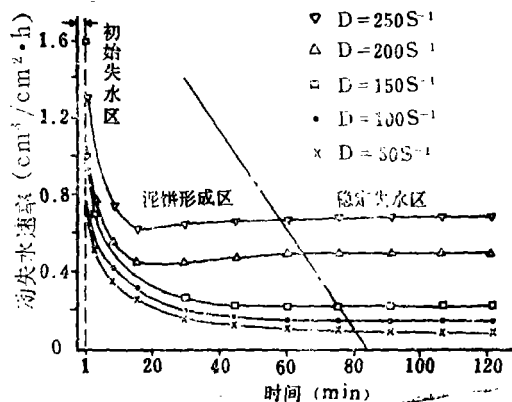


图3 不同速梯下泥浆的动失水量的变化曲线

整个动失水过程可以分成三个区域:初始失水区在开始失水的很短时间内发生,其失水速率很高;其次是泥饼形成区,动失水速率以较快的速度降低,而渐趋平缓,此时

泥浆增长速度超过了被冲刷的速度；最后是稳定失水区，动失水速率达到恒定值，泥饼的增长和被冲刷速度相平衡，滤液稳定地向地层深入，这时累积动失水量和时间成正比，表现为一直线。这种情形是静失水所不具备的。

还可看出泥浆的速梯对动失水性能的影响，速梯越大，达到稳定失水的时间越短，而动失水速率恒定值越高，高、低速梯下其值相差数倍。我们试验了五种泥浆体系的三个温度及三个压差所得动失水曲线规律均相似。可见钻开油气层时的泥浆返速低对保护油气层有利。

2. 泥饼厚度及渗透率

动、静失水所得的泥饼，不仅厚度不同，而且其渗透性也不相同。通过观察发现，静失水形成的泥饼表面有稠泥浆存在，较厚，而动失水形成的泥饼则较薄。两者泥饼的渗透率亦有较大差异。

根据失水结束时的滤失参数可以用下式计算出泥饼渗透率，测定及计算结果（表1）。

表 1

泥浆类型	速梯 (s ⁻¹)	最后15分钟 失水体积 (cm ³)	泥饼 厚度 (mm)	泥饼透 透率 κ (μm^2)
三磺重泥浆	0	0.2	4	0.6×10^{-6}
	50	0.5	3.5	1.2×10^{-6}
	100	0.8	2.5	1.4×10^{-6}
	150	1.2	2	1.7×10^{-6}
	200	2.8	2	3.9×10^{-6}
	250	3.8	2	5.3×10^{-6}
低固相泥浆	0	0.7	1.5	0.7×10^{-6}
	50	1.6	1	1.1×10^{-6}
	100	2.75	0.6	1.2×10^{-6}

$$\kappa = 0.987 \frac{Q_w \cdot h \cdot \mu}{t \cdot \Delta P \cdot A}, \mu\text{m}^2,$$

式中： Q_w ——滤液体积，cm³；

ΔP ——压差， $9.8 \times 10^4 \text{ Pa}$ ；

A ——过滤面积，cm²；

μ ——滤液粘度，mPa·s

t ——渗滤时间，s；

h ——泥饼厚度，cm

3. 压差的影响

泥浆的静失水量一般随压差增高而加大，但泥浆动失水率恒定值与压差的关系随泥浆的流速梯度而异，在极低速梯下，随压差增加而变大，而在高速梯下，却又随压差增加而减少。用三磺重泥浆试验结果见表2。

表 2

动失水速率 (cm ³ /cm ² ·h) 速梯(s ⁻¹)	压 差 (10 ⁵ Pa)		
	7	20	35
50	0.09	0.11	0.14
25	0.67	0.60	0.42

4. 动、静失水关系

静失水量和动失水速率恒定值之间，没有一定比例关系。例如，API法，用失水量相同（均为30min 12cm³）的两个不同类型的泥浆样品（分别为不分散及细分散泥浆），在相同速梯下测定它们的动失水速率恒定值，结果：不分散泥浆为0.59cm³/cm²·h，而细分散泥浆为0.74cm³/cm²·h。

上述各点说明，泥浆动、静失水之间的差异代表了泥浆的内在性质。已显露出和泥浆的流变性、固相的粒度分布和含量、粘土水化性能及处理剂对井壁的吸附方式有关，也和形成泥饼的机械性质有关。

泥浆动失水对不同渗透率岩心堵塞状况

为了使影响因素单一,采用自己压制的刚玉砂岩心,经过烧结成惰性,无水化膨胀或溶解性,其孔隙度约在20%左右,制成不同渗透率岩心,试验前抽空饱和蒸馏水。

1. 用不同渗透率的岩心做泥浆动失水试验

用同一泥浆在渗透率高的岩心上测得动失水速率较在渗透率低的岩心上测得者为低。又在压差3.5MPa下,速梯均为 200s^{-1} ,用同一泥浆对三个不同的岩心测定动失水和岩心的渗透率恢复值,结果如表3。

岩 心 (μm^2)	动失水速率 ($\text{cm}^3/\text{cm}^2\text{h}$)	1 分钟失水量 (cm^3/cm^2)	120分钟 总失水量 (cm^3/cm^2)	泥饼厚度 (mm)	岩心恢复值(%)	
					开始	稳定
$\kappa = 1.099$	0.32	0.14	0.84	1.0	81	86
$\kappa = 0.5143$	0.49	0.08	0.96	1.0	70	86
$\kappa = 0.085$	0.81	0.02	1.72	1.0	34	43

从上表看出,由于渗透率高,孔隙直径大,初始失水也大,涌入泥浆多,形成内泥饼厚,不易受到冲蚀,故渗滤阻力较大,动失水速率相对较小。低渗透岩心则相反,由于孔隙直径小,内泥饼较薄,故渗滤阻力较低,动失水速率反而较高。渗透率低的岩心恢复值较小。可见渗透率低的岩心不仅在动失水下侵入泥浆滤液多,而且反排以后也不易恢复,这就是低渗透油气层受泥浆的污染远较高渗透油气层为严重的原因之一。

2. 泥浆固相侵入岩心的情况

如表3所述,由于动滤失稳定地进行,滤液会将侵入岩心的部分固相粒子不断冲入深处,不易被排出。

经过我们初步测定,泥浆固相颗粒的侵

入和泥浆中固相粒度、含量及岩心渗透率大小(即岩石孔隙结构)有关。如密度为1.70的重泥浆,在岩心渗透率低于 $1.5\mu\text{m}^2$ 情况下,固相颗粒侵入深度不超过3mm。如用密度1.05的低固相泥浆,在渗透率为 $0.4\sim 1\mu\text{m}^2$ 之间的岩心上作动滤失时,则粘土微粒的侵入深度将超过18cm。

初步认识

1. 泥浆在井下流动条件下,动失水规律和静失水规律完全不同。

2. 钻井过程中泥浆动失水量占总失水量的90%左右。

3. 泥浆流动速梯对动失水速率影响很大。速梯越高,动失水速率越大。

4. 过滤介质不同,动失水也不同,较低渗透率岩心比较高渗透率岩心的动失水速率为大,受泥浆侵害也比较严重。

根据初步试验数据表明,选用动失水低的泥浆及钻开油气层时泥浆返速低,快速钻过油气层缩短浸泡时间,均对保护油气层有利。

(本研究工作系由油田化学研究室完成,雷一鸣、吕爱康、黄石雄等同志参加。孔昭瑞、项复兴、耿南平等同志参加了仪器的设计及指导,均此致谢)。

参 考 文 献

〔1〕张绍槐、徐云英编译《现代钻井技术》1983年。

〔2〕美 G.R.Gray 等《Composition and Properties of Oil Well Drilling Fluids》1979年。

(下转51页)

Application of Grey System Theory to Gas Field Development

This paper utilizes the G M (1,1) model of prof. Deng Julong's grey system theory to set up a performance model of gas field development, and proposes a new simple equation for estimating the reserve of gas reservoir and a new method for well testing, i.e. constant step well testing, which can be used to predict the bottom pressure and temperature.

Qi Hong

DRILLING/PRODUCTION TECHNOLOGY AND EQUIPMENT

Raising the Technology Level of Scientifically Drilling Exploratory Wells

This work states the main points for raising technology level of various links in scientifically drilling exploratory wells from following five aspects: closely coordinating with the geological activities to pay special attention to three technical keys (i.e. 1, formation pore pressure and fracture pressure of different intervals, 2, analysis of mineral composition in oil and gas-bearing formations, 3, drillability of the rocks); strictly enforcing drilling engineering design; protecting oil- and gas-bearing formations; completing and cementing wells with high quality.

Ni Rongfu

Laboratorial Experiment and Research of the Jet Flow at the Bottom

The measuring method of the hydraulic capacity of inundated non-free water jet flow acting on the rock surface at the bottom with a special device and the relation of jetting distance and nozzle number with hydraulic capacity are expounded. It is concluded that the optimal jetting distance is 8-10 times as long as the equivalent diameter of the nozzle and the hydraulic capacity may be raised as the nozzle number decreases.

Yao Caiyin, Zhang Shaohuai

Controlling Directional Well Bore's Track by Applying Azimuth Drift

The rotary drill stem will engender direction drift in rotary drilling of directional well and cluster well. In this paper, the controlling method of direction drift is explored and the direction drift rate in each formation of Zhongba structure is counted and analyzed by using the data of well deflection measured in cluster wells drilled there. Using this method, the well bore track can be better controlled.

Zhao Mingdao, Xu Yun

Drilling Mud Dynamic Filtration Apparatus and Its Preliminary Test

This work introduces the development and main function of drilling mud dynamic filtration apparatus, which is a device modelling mud filtration into formation in the course of drilling. Through testing, the new concept of mud dynamic filtration is proposed and the testing measure and researching way are provided to optimize drilling mud for protecting oil-bearing formation.

Li Shuduan, Hu Sanqing, Zhang Yijun, Sun Tianxi

图6表示在射流的某一截面上,喷嘴当量直径相等的单股、双股和三股射流的边界。

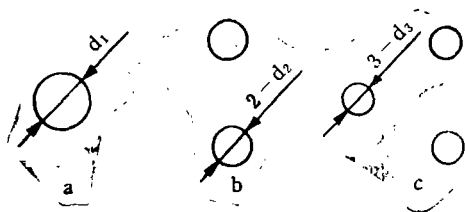


图6 单、双、三股射流的边界

设喷嘴的当量直径 d_e 相等,并且射流的扩散角相等,则

$$\frac{\pi}{4} d_1^2 = 2 \frac{\pi}{4} d_2^2 = 3 \frac{\pi}{4} d_3^2$$

$$d_1 = \sqrt{2} d_2 = \sqrt{3} d_3$$

射流的边界总长度 l :

$$l_1 = \pi d_1$$

$$l_2 = 2\pi d_2 = \sqrt{2} \pi d_1 = \sqrt{2} l_1$$

$$l_3 = 3\pi d_3 = \sqrt{3} \pi d_1 = \sqrt{3} l_1$$

所以, $l_3 > l_2 > l_1$

由此可见,在三、双、单喷嘴当中,当喷嘴当量直径、射流扩散角和其他条件都相同时,三喷嘴射流不但边界总长最长,而且射流间的相互干扰最严重,所以能量损失最多,井底岩面得到的水力能量最少。单喷嘴射流不仅边界长度最短,而且不存在射流的相互干扰,所以能量损失最少,井底岩面得到的水力能量最大。双喷嘴射流居于两者之间。

结 论

(1) 用专用测量装置直接测量淹没非自由射流作用在井底岩面上的水功率和冲击力是一种新的实验方法。

(2) 对圆锥形喷嘴产生的淹没非自由射流,无论是单股、双股还是三股射流都存在着一个最佳喷距。在最佳喷距上,射流作用在井底岩面上的水力能量最大,水力清岩和水力破岩的能力最强。在本文的实验条件下,最佳喷距为8~10倍喷嘴当量直径。

(3) 在同样的条件下,减少喷嘴数目可以提高井底岩面上的水力能量。

(4) 当淹没非自由射流的喷距小于最佳喷距后,射流的等速核长度随喷距的减少而缩短。

参 考 文 献

[1] 张绍槐 喷射钻井井底流场的试验架研究及单喷嘴钻头的井下试验 《石油 钻采工艺》1983年第5期

[2] 张绍槐、姚采银 “喷射钻井中井底岩面最大水功率和最大冲击力工作方式” 第二次国际石油工程会议论文之十八 1986年3月

(3) Beltaos, S. et al, "Impinging Circular Turbulent Jets", Proc. ASCE, J. Hydraulics Div., 100: p.p. 1313~1328

(本文收到日期 1986年11月22日)

(上接58页)

[3] 美J.P.Simpson等 《模拟井下条件的钻井流体滤失作用》(SPE 4779 1974)。

[4] 美J.m.Peden等《The Analysis of Filtration Under Dynamic and Static Conditions》(SPE 1203 1984)。

[5] 美T.J.Nowak等 《The Effect of Mud Filtrates and Mud Particles upon the Permeabilities of Cores》1951年

(本文收到日期1986年10月23日)