

文章编号:1673-5005(2007)06-0044-04

随钻扩眼工具井底钻压分配的实验研究

管志川, 魏文忠, 夏 焱

(中国石油大学 石油工程学院, 山东 东营 257061)

摘要:为了考察随钻扩眼工具钻进过程中产生的特殊结构井眼对井底钻压分配的影响,按照相似原理建立了随钻扩眼工具底部钻柱动力学特性模拟实验装置,对领眼井底与阶梯井底的钻压分配规律进行了研究。模拟实验结果表明,随钻扩眼形成的阶梯式井底岩石要比领眼井底岩石更容易破碎,实际钻压分配比小于按照几何结构定义的钻压分配比。该结果与理论模型的研究得到的结论一致。

关键词:随钻扩眼工具; 钻压分配比; 实验研究

中图分类号:TE 21 **文献标识码:**A

Experimental research on ratio of weight on bit for reaming while drilling tools

GUAN Zhi-chuan, WEI Wen-zhong, XIA Yan

(College of Petroleum Engineering in China University of Petroleum, Dongying 257061, Shandong Province, China)

Abstract: To study the effect of the peculiar borehole created by reaming while drilling tools on the ratio of weight on bit (WOB), an experimental facility modeling the dynamic characteristic of the drill string with reaming while drilling tools was established based on the similarity principle. The experimental research on the ratio of WOB for the reaming while drilling tools was carried out. And the results show that the rock around the ladder borehole is apt to fall into pieces compared with the rock around the pilot hole. The actual ratio of WOB is smaller than that calculated by the geometry method, which agrees well with the result obtained by the theoretical method.

Key words: reaming while drilling tools; ratio of weight on bit; experimental research

随钻扩眼钻井作业作为一种用于井身结构优化、提高固井质量、提高钻井效率、降低作业成本的应用技术^[1-5],得到了越来越广泛的应用。但是,随钻扩眼工具的结构及破岩方式不同于常规钻头,在随钻扩眼钻井过程中产生了阶梯型井底,其承受的地层应力也有别于常规钻头产生的井眼,这种差别必然引起阶梯上岩石应力状态的变化,并影响其抗破坏能力,结果使得扩眼体对岩石的破碎速度发生改变,从而对底部钻具组合的轴向压力分配产生影响。轴向压力是底部钻具组合设计的关键参数,因此,进行随钻扩眼工具井底钻压分配的研究对随钻扩眼工具钻具组合的设计及应用具有重要意义。本文中采用模拟实验的方法来研究随钻扩眼工具井底钻压的分配规律,从而为随钻扩眼工具底部钻具组

合力学参数分析以及钻具组合参数设计提供理论上的支持和帮助。

1 随钻扩眼工具井底钻压表示方式

用于随钻扩眼钻井过程的随钻扩眼工具,从结构上来说可以分为两大类,一是钻头类型的随钻扩眼工具(单体式和双体式),二是具有独立结构的随钻扩眼工具。一定条件下,双体式钻头型扩眼工具也可以转变为独立结构的随钻扩眼工具。随钻扩眼工具简单表示为图1所示的物理模型。

为了表示这种结构上的特殊性,可用 W_1 和 W_2 分别表示钻头底面(或领眼钻头)与扩眼器上的钻压,并将 W_2 与总钻压($W_1 + W_2$)之比定义为钻压分配比,用符号 k_e 表示,即

收稿日期:2007-09-25

作者简介:管志川(1959-),男(汉族),山东单县人,教授,博士,博士生导师,从事石油工程领域的教学与科学研究工作。

$$k_w = \frac{W_2}{W_1 + W_2}, \tag{1}$$

该参数反映了钻头结构特征对井底钻头上钻压分配的影响关系。

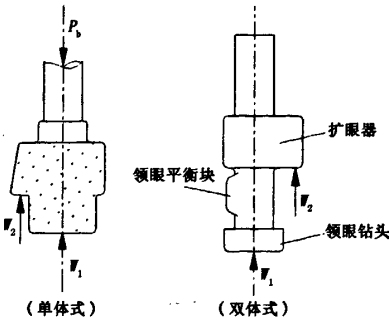


图1 随钻扩眼工具物理模型

目前,钻压分配比通常采用钻头与地层接触面积之比来表示(又称几何法),即

$$k_w = \left(1 - \frac{D_p^2}{D_w^2}\right). \tag{2}$$

式中, D_p 为领眼钻头直径; D_w 为扩眼后的井眼直径。

该计算方法仅简单地考虑了面积对压力分配的影响,而忽略了实际破岩过程中特殊井眼结构的影响,不能真实地反映钻压分配的实际情形。

2 模拟实验原理

利用根据相似原理建立的底部钻柱模拟实验装置^[6],研究随钻扩眼工具模型结构参数及钻柱组合参数条件下的钻柱动力学特性。

根据现有实验条件结合实际钻柱参数,对所有具有长度单位的物理量,如钻柱的内外径、长度,以及井筒内径等,采用相同的几何比,约为 $c_l = 1/10.4$ 。

实际钻柱的材料钢的密度 $\rho = 7.85 \text{ g/cm}^3$,弹性模量 $E = 210 \text{ GPa}$;模拟钻柱采用的材料为 ABS 工程塑料,密度 $\rho_m = 1.084 \text{ g/cm}^3$,弹性模量 $E_m = 2.23 \text{ GPa}$ 。

根据钻柱动力学方程及相似原理,得到模拟钻柱的相似条件。将已知参数代入相似准则,得到模型转速 ω_m 与现场原型转速 ω 和模型钻压 W_m 与现场原型钻压 W 的相似变换式为

$$c_\omega = \frac{\omega_m}{\omega} = \sqrt{\frac{c_E}{c_\rho c_l^2}} \approx 2.88,$$
$$c_w = \frac{W_m}{W} = c_E c_l^2 \approx \frac{1}{10185},$$

其中

$c_E = E_m/E, c_\rho = \rho_m/\rho$.

说明在此条件下实验模型转速是现场的 2.88 倍,实验钻压是现场的 1/10185。

对室内测试装置进行标定后,得到室内仪表转速读数(标称速度)与模型转速和原型转速的关系,如表 1 所示。

表1 标称速度对应的模型与原型转速

标称速度 $v/(km \cdot h^{-1})$	模型转速 $v_1/(r \cdot min^{-1})$	原型转速 $v_2/(r \cdot min^{-1})$
1.0	66.35	23.04
2.0	129.14	44.84
3.0	191.93	66.64
4.0	254.72	88.44
5.0	317.51	110.25
6.0	380.3	132.05

3 实验模拟装置

3.1 模拟钻头及井底结构

本文中以单体 PDC 偏心钻头钻进时为原型进行模拟实验研究,偏心钻头与岩石的作用见图 2。

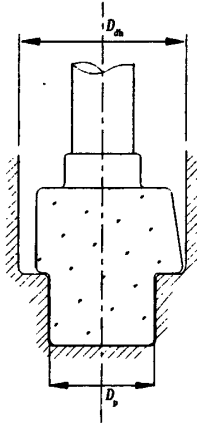


图2 偏心钻头与岩石作用示意图

为了完成对领眼井底与阶梯井底上钻压的测量工作,设计和加工了如图 3 所示的井底钻压测量辅助装置。

该装置的核心部分是领眼井底压力传感器和扩眼井底压力传感器,分别用来测量领眼钻头与扩眼体上的钻压。模拟扩眼井底和领眼井底是用水泥制作的,实验过程中,随着钻柱的转动,领眼钻头与扩眼体同时对其进行切削,压力传感器分别记录其动态的钻压变化情况。

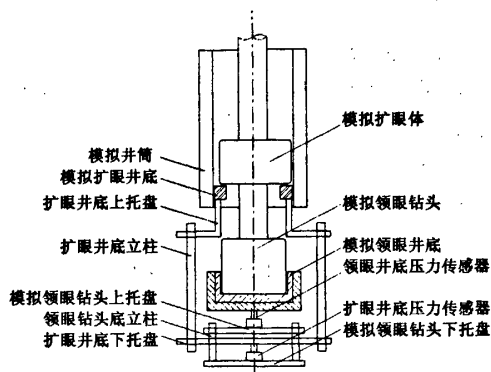


图3 井底钻压测量辅助装置示意图

3.2 模拟钻柱及井筒

模拟钻柱由ABS工程塑料棒加工而成,中空,通过两端的螺纹将各段钻柱连接成整体。模拟领眼钻头和扩眼工具模型由圆钢加工而成,直径分别为21.6和30.0 mm。

模拟井筒为有机玻璃管,便于直接观察底部钻柱的运动状态。模拟钻柱的总长度为12 m;钻具组合为随钻扩眼钻头+ $\Phi 22.8$ mm 模拟钻铤+ $\Phi 17.8$ mm 模拟钻铤+ $\Phi 15.9$ mm 模拟钻铤;可模拟的实际底部钻柱长度约为120 m。模拟井筒内径为30 mm,基本上能够模拟 $\Phi 311.2$ mm 井眼。模拟钻柱及模拟井筒的尺寸见表2。

表2 模拟钻柱及井筒尺寸

钻柱类别	外径 d_1 /mm	内径 d_2 /mm	总长度 L /m
$\Phi 22.8$ 模拟钻铤	22.8	7.0	3.0
$\Phi 17.8$ 模拟钻铤	17.8	5.7	7.0
$\Phi 15.9$ 模拟钻铤	15.9	5.7	2.0
$\Phi 30$ 模拟井筒	40.0	30.0	14.0

4 实验结果分析

实验装置标称速度为2.0 km/h(对应实际转速约44.84 r/min)时测得的领眼钻头与扩眼体上的钻压波动曲线见图4。总的来说领眼钻头上的钻压大于扩眼体上的钻压,而且其振动幅度也较大。通过计算可得到领眼钻头与扩眼体的平均钻压分别为11.1和20.5 kN,按照钻压分配比定义计算得该条件下钻压分配比为0.34。

实验装置标称速度为4.0 km/h(对应实际转速约88.44 r/min)时测得的领眼钻头与扩眼体上的钻压波动曲线如图5所示。对比标称速度为2.0 km/h时的结果可以看出,由于此时转速增加,钻压波动的频率也明显提高,表现在曲线上就是同一时间内

钻压波动出现的次数明显增多了。通过计算可得到领眼钻头与扩眼体的平均钻压分别为10.4和15.7 kN,按照钻压分配比定义计算得该条件下钻压分配比为0.39。

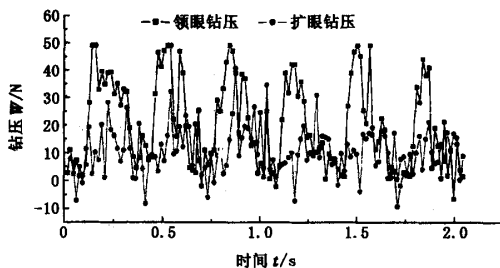


图4 标称速度为2.0 km/h时领眼钻头与扩眼体上钻压波动曲线

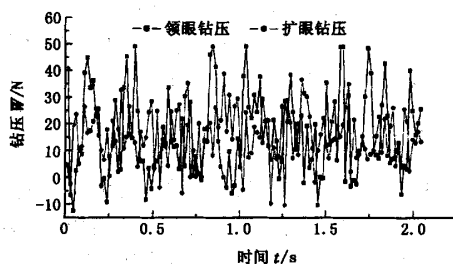


图5 标称速度为4.0 km/h时领眼钻头与扩眼体上钻压波动曲线

根据模拟钻头尺寸,按几何模型计算的钻压分配比为0.48,如果按照阶梯效应指数法^[7]计算应该为0.34,两种情况下测得的结果都与理论值有误差,也就是说实际钻压分配比往往比按照几何结构参数定义的理论计算结果要小。

通过阶梯井眼力学特性实验研究也发现,实际的钻压分配比受到岩石力学状态及扩眼工具本身破岩能力的影响,本文的测量结果与采用阶梯效应指数分析的结果有一定误差,但其大小的范围和趋势与理论分析是一致的^[7]。

对多组测量数据进行处理,可以得到如图6所示的不同转速条件下钻压分配比的变化规律曲线。

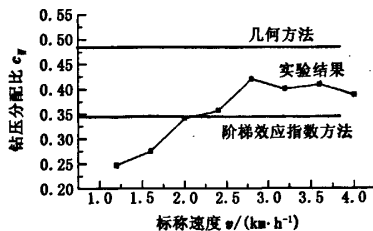


图6 实测钻压分配比与标称转速的关系

由图6看出,低转速条件下的测量结果较低,中转速和较高转速阶段钻压分配相对比较稳定;实验结果均小于几何方法的结果,说明钻压分配比计算中仅简单地考虑接触面积是不够的。

5 结 论

(1)以相似原理为基础建立的随钻扩眼工具动力学特性模拟实验装置以及根据其工作特点设计和建立的井底钻压测量辅助装置可以用来测量井底钻压。

(2)领眼钻头上的钻压大于扩眼体上的钻压,根据平均钻压来计算钻压分配比,低转速条件下的测量结果较低,中转速和较高转速阶段钻压分配比相对比较稳定。

(3)实验得到的钻压分配比小于按照几何结构定义的钻压分配比,且与阶梯效应指数方法的结果较一致。

参考文献:

- [1] DAVE Rodman, THOMAS Wong, ADRIAN C Chong. Steerable hole enlargement technology in complex 3D di-

rectional wells[R]. SPE 80476, 2003.

- [2] MORRISON W, BAGGAL Z, BAXENDALE B, et al. Optimizing wellbore design using solid expandable tubular and bi-center bit technologies[R]. SPE 92886, 2005.
- [3] CHARLRS D Whitson, MICHAEL K Mcfadyen. Lessons learned in the planning and drilling of deep, subsalt wells in the deepwater Gulf of Mexico[R]. SPE 71363, 2001.
- [4] MAGGIE Lee. 美国十大钻头公司的十大钻头新技术[J]. 申守庆,译. 国外油田工程, 2002(7):14-20.
- [5] DAVE Rodman. Near-bit reamer allows underreaming while drilling with steerable systems[J]. JPT, 2001, 53(1):20-21.
- [6] 管志川,王以法,靳彦欣. 直井中底部钻柱运动状态的实验研究[J]. 石油学报, 2003, 24(5):102-106. GUAN Zhi-chuan, WANG Yi-fa, JIN Yan-xin. Experimental research on motion behavior of bottom drill straight hole[J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(5):102-106.
- [7] 夏焱. 随钻扩眼工具结构及与之相匹配的钻具组合设计方法研究[D]. 东营:中国石油大学石油工程学院, 2007.

(编辑 陈淑娟)

吕洪波教授提出胶州湾冰川成因说

近日,中国石油大学(华东)地球资源与信息学院教授吕洪波提出了胶州湾冰川成因说,认为胶州湾是更新世(距今180~1.1万年)晚期覆盖山东半岛的大陆冰川(第四纪大陆冰川)向黄海运移过程中挖掘出来的峡湾。

2005年以来,吕洪波带领课题组成员考察了青岛崂山、大珠山、小珠山等花岗岩山脊上的第四纪冰川剥蚀地貌,推断在末次大冰期中国东部包括山东半岛在内的广大地区曾经覆盖着多个小冰帽甚至连成一片的大陆冰川。

吕洪波认为,青岛附近的地貌单元可以概括为两山夹一水,两山即东北的崂山和西南的大、小珠山,而正是胶州湾将崂山和大、小珠山等海岸山脉拦腰截断。前人的研究发现,胶州湾内大约两万年以后的晚更新世沉积物直接覆盖在中生界基岩之上,揭示了胶州湾在2万年前一直遭受剥蚀的事实,而且大约1万年前的全新世胶州湾才有海相沉积,说明全新世(1.1万年以来)开始后胶州湾才有海水灌入。这两大特征与第四纪末次大冰期退缩的时间吻合。此外,关于胶州湾的成因,不少学者曾提出“火山口塌陷说”和“断陷盆地说”。然而,胶州湾缺乏边界断裂,因此不是断陷盆地;也并未发现明显的火山口构造,因此非火山口塌陷造成。更新世晚期的冰体在胶州湾附近向东部的黄海运移的过程中受到东北侧的崂山和南侧的小珠山、大珠山等花岗岩山体阻挡,最终在胶州湾附近沿着这些山体之间东北和西北两个方向的断裂交汇处开凿出一条通道,即胶州湾出口。胶州湾实际上就是巨大的冰体在胶州湾出口内开凿的一个大的峡湾,随着更新世末期冰川退缩而来的海平面上升,海水浸没原来的冰舌剥蚀峡谷,形成了今天的胶州湾。

吕洪波教授的这项研究成果在2007年《中国海洋与湖沼》英文版杂志第25卷第2期上公开发表。

(科技处 焦念友)