

# PDC 钻头钻井时的地质分层方法\*

高德利 张 辉

王家祥

(石油大学石油工程系, 北京 102200) (中国海洋石油渤海公司)

**摘要** 使用 PDC 钻头钻井时, 岩屑破碎得很细, 通过岩屑录井来判断地层岩性十分困难。对 PDC 钻头切削刃进行了受力平衡分析, 建立了地层识别因子与钻井操作参数、钻头结构参数的关系模型。根据已钻井的录井、测井、地质资料提取地层变化规律, 利用随钻录井数据预测了地层岩性。编制了相应的地质分层软件, 并进行了实例预测。预测结果与测井解释结果比较, 符合率为 65%~70%, 说明该预测方法具有一定的有效性和实用性。

**主题词** PDC 钻头; 地层; 岩性识别; 预测

**中图法分类号** TE 132\*\*\*

**第一作者简介** 高德利, 男, 1958 年生。1984 年在西南石油学院获硕士学位, 1991 年在石油大学获博士学位, 1992 年清华大学博士后出站, 现任石油大学教授, 主要从事钻井力学方面的研究。

## 引 言

岩屑录井是在现场判断地层岩性的主要途径之一。但是, 当使用 PDC 钻头钻井时, 岩屑破碎很细, 人工判断地层岩性很困难, 这给地质分层工作带来了新的问题。本文根据 PDC 钻头的结构特点和破岩机理, 建立 PDC 钻头地质分层模型, 进而根据已钻井的资料和随钻录井数据, 预测 PDC 钻头所钻地层的岩性。

## 1 地质分层模型的建立

PDC 钻头的切削刃是以切削方式来破碎岩石的, 它能自锐地切入地层, 在扭矩的作用下, 向前移动剪切岩石。它充分利用了岩石抗剪强度较低的特点。针对 PDC 钻头的结构特点和破岩机理, 进行切削刃受力分析。首先做出以下基本假设:

- (1) 地层岩石特性是塑性的。
- (2) 井底大体上平行于钻头轮廓面。
- (3) 单切削刃和全钻头之间有相似之处: (a) 钻速与切削刃吃入深度成比例; (b) 作用于单切削刃的法向力与钻压成比例。
- (4) 切削角忽略不计。

(5) PDC 钻头切削刃的体积磨损与摩擦功成正比。

(6) 切削刃侧面摩擦忽略不计。  
PDC 钻头切削刃受力分析如图 1 所示。

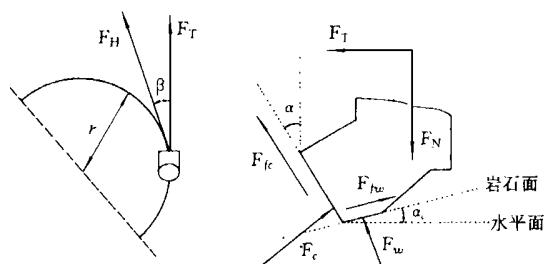


图 1 PDC 钻头切削刃受力分析

在 PDC 钻头切削刃作用下, 岩石会发生塑性变形。岩石和切削刃相互作用的受力分析如图 2 所示。

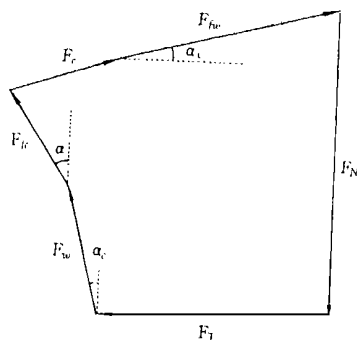


图 2 岩石和切削刃相互作用受力分析

忽略切削角  $\alpha_c$ , 根据弹性力学原理和上述基本假设, 则图 2 可简化成图 3 的形式。

\* 收稿日期: 1997-05-05

\*\* 中国海洋石油总公司渤海石油公司“PDC 钻头在地层分层方面的研究”项目中的一部分。

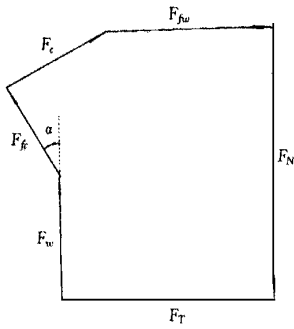


图3 受力简图

由上述基本假设, 并从切削齿受力平衡角度推导钻头扭矩方程, 可得

$$T_D = E_1 + E_2 F_D = \frac{T_b}{W d_b} \quad (1)$$

其中

$$E_1 = \left\{ \frac{4 C_1 (1 - \mu \tan \alpha) - C_1 d_b [2 - (\mu + \tan \alpha)^2]}{d_b^2 K_1 (\mu + \tan \alpha)} \right\} \left[ \frac{12 C_1 [2 - (\mu + \tan \alpha)^2] R_{st}}{d_b^2 K_1 K G_1 (\mu + \tan \alpha) (W/d_b)_{st} N_{st}^a} \right]$$

$$E_2 = \frac{G_1 R / R_{st}}{(W/W_{st})(N/N_{st})^a}$$

式中,  $a$  为转速指数;  $d_b$  为钻头直径;  $C_1$  为钻头设计参数;  $E_1$  为回归直线截距;  $E_2$  为地层识别因子;  $F_D$  为无因次钻速组;  $G_1$  为单位转换常数;  $K$  为可钻性常数;  $K_1$  为比例常数;  $N$  为转速;  $N_{st}$  为厂家推荐转速;  $R$  为钻速;  $R_{st}$  为厂家推荐钻速;  $T_b$  为钻头扭矩;  $T_D$  为无因次扭矩组;  $W$  为钻压;  $W_{st}$  为厂家推荐钻压;  $\alpha$  为后靶角;  $\mu$  为摩擦系数。

式(1)即为 PDC 钻头钻井时的地质分层模型。地层识别因子  $E_2$  表明了在各质层中, 无因次组  $F_D$ 、 $T_D$  存在线性关系, 它的变化预示着地层岩性的变化。

## 2 模型的验证及应用

### 2.1 模型的验证

由随钻录井数据绘制出  $T_D$  与  $F_D$  的关系曲线, 二者呈直线关系, 直线的斜率变化表明岩性变化。岩性监测实例如图 4 所示。

实例分析中所用 PDC 钻头为 R526, 钻头直径为 311.15 mm。这只钻头从 1183 m 钻到 1192 m, 地层开始为页岩, 后为砂岩。砂岩和页岩的顺序由测井曲线指示。测井曲线表明, 在井深 1187 m 处地

层岩性有变化。  $T_D \sim F_D$  无因次曲线在井深 1187 m 处斜率也有显著变化, 同样表明地层岩性有变化, 这与测井曲线相吻合。

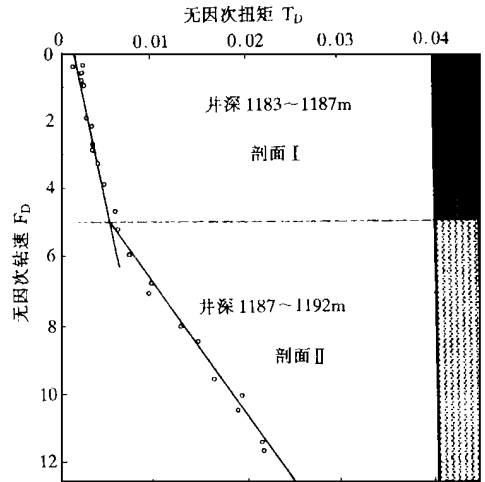


图4 QK181P1井地层岩性监测实例

### 2.2 模型的应用及适用范围

根据上述模型编制了计算机软件, 在渤海油田歧口区块进行了随钻试验。试验结果如图 5 所示。

录井数据				井深 (m)	地层岩性评估			测井解释岩性
钻时 (min/m)	钻压 (kN)	转速 (r/min)	扭矩 (kN·m)		抗钻强度 $\sigma_c$ / MPa	剪切强度 $\sigma_s$ / MPa	岩性	
0.75	0.125	0.100	0.25	2161	0.50	0.25		
				2171				
				2181				
				2191				
				2201				
				2211				
				2221				

图5 渤海油田 QK181P1 井的预测结果

试验结果表明, 实时预测的地层岩性与钻后测井解释的地层岩性相比, 符合率为 65% ~ 70%。这说明该实时预测方法具有一定的可靠性和实用性, 为现场判断地层岩性开辟了一条新途径。

由于上述模型是从 PDC 钻头切削刃受力平衡角度推导出来的, 因此, 该模型及所开发的计算机软件仅适用于 PDC 钻头所钻的井段。

(下转第 36 页)

由式(9)得

$$U_x = \frac{8Q_1 \sqrt{d^4 - l^4} + 4Q_2 \sqrt{4d^4 + l^4}}{d^2} \frac{y}{4\pi^2} \quad (10)$$

从式(10)可以看出,当靠近井底(即  $y$  较小)时,分枝水平井水平段井筒上的流速与  $y$  近似成正比,即流速的变化不太剧烈。

当  $y$  较大时,式(9)括号中的两项变化不会太大,括号外分式的分母随着  $y$  的增大而迅速变小,即分式的值急剧增大。也就是说,靠近水平段的外端部,流体的流速迅速增大。

从图3的流速分布曲线也可以看到,流速分布曲线呈漏斗状,水平井井底附近流速很小,从井底向外水平段井筒上流速逐渐增大,至水平段外端部附近流速急剧增加。这说明,对于水驱或气驱开发的油田,在水平段井筒的外端部会过早见水或出现气窜。

为了改善这种情况,可以在水平段靠近井底附近采取酸化、压裂等增产措施,而在水平段的外端

部,降低射孔密度,人为地增大水平段外端部附近的渗流阻力及降低井底附近的渗流阻力,以改变井筒上的流速分布,推迟水平井见水(或气窜)时间。另外,从井网上看,采取五点井网比九点井网更为合理。

### 参 考 文 献

- 1 Joshi S D. Production Forecasting Methods for Horizontal Wells. SPE 17580, 1988
- 2 Giger F M. Low-Permeability Reservoirs Development Using Horizontal Wells. SPE/DOE 16406, 1987
- 3 郎兆新等. 多井底水平井渗流问题某些解析解. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(4): 40~ 47
- 4 郎兆新等. 水平井与直井联合开采问题——五点法面积井网. 石油大学学报(自然科学版), 1993, 17(6): 50~ 55
- 5 李春兰. 水平井产能研究[硕士学位论文]. 石油大学(北京)石油工程系, 1993: 4~ 8

(责任编辑 陈淑娴)

(上接第26页)

### 3 结论和建议

(1) 实际应用证明,所建立的 *PDC* 钻头地质分层模型比较合理,所提供的 *PDC* 钻头地质分层方法和软件具有一定的可靠性和实用性。

(2) *PDC* 钻头地质分层方法,克服了常规岩屑录井的不足,便于现场人员及时、准确地了解所钻遇的地层,实现由岩性录井实施地质分层。

(3) 所建模型没有考虑水力因素、钻头工况的影响,这有待于进一步完善。

### 参 考 文 献

- 1 Kuru E, Wojtanowsica A K. A Method for Detecting In-Situ *PDC* Bit Dull and Lithology Change. IADC/SPE 17192, 1988
- 2 Falconer I G, Wolfenberger E, Burgess T M. MWD Interpretation Tracks Bit Wear. Oil & Gas J, 1986: 55~ 59
- 3 吕苗荣,郭学增等. *PDC* 钻头钻进中地层等参数提取方法的研究和应用. 石油钻探技术, 1990, 18(2): 17~ 21
- 4 郭学增. 钻时资料与地层信息. 石油学报, 1986, 7(3): 117~ 122

(责任编辑 陈淑娴)

the layer, clear shear wave splitting may be observed. Anisotropy of shear wave velocity increases with the fractural density and width. And high frequency is more sensitive to anisotropy.

**Subject words** anisotropic media; multiple media; anisotropy; shear wave splitting; fracture

**About the first author** *Chu Zehan, male, professor, was born in 1939. He graduated from the Department of Geophysics in Beijing Petroleum Institute in 1962. He is teaching and researching on well logging at the Department of Geoscience in the University of Petroleum, China (Beijing: 102200).*

*Gao Deli, Zhang Hui, Wang Jiayang/A METHOD OF FORMATION CLASSIFICATION WHILE DRILLING WITH PDC BITS/ 1998, 22(1): 25~ 26*

Because of fine cuttings while drilling with PDC bits, it is difficult to identify the lithology changes by the way of lithology logging. The balance of forces acting on PDC bit cutter is analyzed, and a model of relations among the formation identification factor and the operational parameters of drilling as well as the bit structural parameters is established. This model can be used to obtain the rules of formation from the data of well logging, production testing and geological information, and also be used to predict formation lithology in combination with MWD data. Application shows that this model is efficient and feasible.

**Subject words** PDC bit; formation; lithology identification; prediction

**About the first author** *Gao Deli, male, was born in 1958. He held master degree from Southwest Petroleum Institute in 1984 and doctor degree from the University of Petroleum in 1991. Now as an professor, he works on drilling dynamics in the University of Petroleum, China (Beijing: 102200).*

*Li Shusheng, Cai Jinglun, Ma Dekun/ TRANSFORMATION OF STRUCTURAL PARAMETERS OF MATRIX AND STEELBODY PDC BITS/ 1998, 22(1): 27~ 30*

The geometry of PDC bit is studied, and some mathematical expressions and computer code of structural parameter transformation between matrix PDC bit and steelbody PDC bit are developed under the premise of fixed cutter surface. By the use of the expressions and computer codes, the structural parameters of matrix and steelbody PDC bit can be mutually transformed, the design calculations and softwares of two types of PDC bits can be completely compatible. It has a great help for steelbody PDC bit design.

**Subject words** PDC bit; bit design; structure; parameter; conversion

**About the first author** *Li Shusheng, male, was born in 1965. He gained MS degree in 1987 and PhD degree in 1994 from Southwest Petroleum Institute. Now he is an associate professor and works on bit and drilling tools at the Research Center of Oilfield New Material Engineering in the University of Petroleum, China (Beijing: 102200).*

*Li Gang, Zhu Mo, Qian Jialin/ EXPERIMENTAL STUDY ON DISPOSAL WASTE DRILLING LIQUID WITH CATIONIC POLYELECTROLYTE/ 1998, 22(1): 31~ 33*

The compound flocculant consisted of cationic polyelectrolyte as a flocculant and aluminum sulfate salt as a coagulant can thoroughly break down the colloid system of the waste drilling liquid and make the waste mud solid-liquid separated. The surface charge neutralization of suspended particles and the flocculation mode of solid particles in waste drilling liquid caused by cationic polyelectrolyte were studied experimentally. The result showed that cationic polyelectrolyte with a great molecular weight had better flocculability than that with a small molecular weight. Addition of flocculant and coagulant should be proper.

**Subject words** cation; electrolyte; waste mud treatment; flocculant; agglomerating

**About the first author** *Li Gang, male, graduated from the Department of Applied Chemistry of Southwest*