

# 控制喷嘴钻井液性能及其影响 机械钻速的探讨

刘 观 遐

(中原石油勘探局)



本文介绍了在钻头处调整改善钻井液某些性能两种方法。对钻井液的某些性能在钻头处的调整改善影响机械钻速的机理进行了探讨。对目前较为流行的一种观点——降低钻井液喷嘴粘度能达到提高喷嘴压力和喷射速度的效果,提出了质疑,认为改变钻井液在钻头处的某些性能可以改善射流的质量,提高机械钻速。

**主题词** 钻头喷嘴 钻井液性能控制 提高 钻井速度 研究

作者刘观遐,1944年生,1968年毕业于西安石油学院矿机专业,现在钻井工艺研究院矿机室工作,工程师。

在钻井过程中,喷射钻井工艺对钻井液性能要求是动态的,即在钻头喷嘴处要求钻井液具有较低的密度、粘度,较大的瞬时失水量,以降低摩阻,有效地破岩及清洗井底;在环形空间,要求钻井液具有适当高的密度、粘度,以维持平衡地层压力的液柱压力,保持井壁稳定,携带岩屑上返。为了达到这种动态要求,常采用两种方法对钻井液性能进行控制,一种是机械方法,另一种是化学方法。

## 一、机械与化学方法

1990年中原石油勘探局钻井工艺研究院成功地研制出钻井液井下固相分离器,就是用机械方法在井底对钻井液的固相含量和性能进行有效地控制。这种方法是将一个(或两个)倒置的旋流器装在钻铤和钻头之间,使钻井液进入钻头喷嘴以前又一次经过旋流分离。在离心力(场)的作用下,被浓缩的高密度、高粘度、高固相含量的钻井液通过倒置的旋流器的底流口(也称上喷嘴)进入环形空间,与井底返回的钻井液混合上返;而被净化的低密度、低粘度、低固相含量的钻井液通过旋流器的溢流口进入钻头水眼射向井底,改善了射流的质量,有利于清岩破岩,提高机械钻速。根据中原油田进行的10口井试验结果证明,可以提高机械钻速10%~30%。

文献[1]、[2]、[3]、[4]介绍了用化学方法处理,即采用聚合物低固相不分散钻井液能满足喷射钻井工艺对钻井液性能的动态要求。这种聚合物低固相不分散钻井液具有良好的剪切稀释性能,即在环空的低速梯下钻井液有较高的粘度,有利于携带岩屑上返,保持井壁稳定;在钻头喷嘴处极高的速梯下钻井液有很低的粘度,可以降低摩阻,有效地破岩清岩,提高机械钻速。在钻进的各项条件相同或相近的情况下,当喷嘴粘度小于 $4\text{mPa}\cdot\text{s}$ 时,每降低 $1\text{mPa}\cdot\text{s}$ 可提高

机械钻速 25%左右。

## 二、对以往观点的探讨

关于钻井液喷嘴粘度降低提高机械钻速的理论,几年来国内有关研究人员进行了深入的探讨,文献〔1〕、〔2〕、〔3〕、〔4〕都论述了一种较流行的观点,这种观点认为钻井液在喷嘴处的粘度降低会达到提高喷嘴压力降和喷射速度的效果。其分析方法和论据是:在求导喷嘴粘度和喷嘴压力降的关系式时,用充分发展的管流的沿程阻力计算公式代替喷嘴压力降计算公式。工程计算沿程水头损失  $h_f$  的公式为

$$h_f = \lambda(L/D)(V^2/2g)$$

式中  $\lambda$  —— 摩阻系数;  $L$  —— 要计算的管段长度;  
 $D$  —— 管子内径;  $V$  —— 管截面上的平均流速;  
 $g$  —— 重力加速度。

文献〔1〕~〔4〕将此公式移植到喷嘴压力降的公式中,有

$$\Delta P_{\text{喷}} = \lambda(L/d)(V_{\text{喷}}^2/2g)$$

式中  $\Delta P_{\text{喷}}$  —— 喷嘴压力降;  $L$  —— 喷嘴长度;  
 $d$  —— 喷嘴内径;  $\lambda = 0.3164/R_e^{0.25}$ 。

由此式推导了喷嘴处钻井液喷射速度与钻井液粘度的关系(当维持喷嘴压力降不变时)为

$$\frac{V_{\text{喷1}}}{V_{\text{喷2}}} = \left(\frac{\eta_{\text{喷1}}}{\eta_{\text{喷2}}}\right)^{\frac{1}{7}} \quad \text{或} \quad V_{\text{喷2}} = \left(\frac{\eta_{\text{喷1}}}{\eta_{\text{喷2}}}\right)^{\frac{1}{7}} V_{\text{喷1}}$$

进而推导出喷嘴压力降与喷嘴粘度的关系式为

$$\frac{\Delta P_{\text{喷2}}}{\Delta P_{\text{喷1}}} = \left(\frac{\eta_{\text{喷1}}}{\eta_{\text{喷2}}}\right)^{\frac{2}{7}} \quad \text{或} \quad \Delta P_{\text{喷2}} = \left(\frac{\eta_{\text{喷1}}}{\eta_{\text{喷2}}}\right)^{\frac{2}{7}} \Delta P_{\text{喷1}}$$

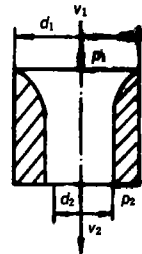
结论是:降低钻井液的喷嘴粘度,可以达到提高喷嘴压降和喷射速度的效果;可以达到利用较低泵压(如 12MPa)收到较高泵压(如 15MPa)的喷射效果,而较高泵压(如 18MPa)收到更高泵压(如 22MPa)的喷射效果的目的。这种分析问题的思路和结论是值得商榷的。将沿程阻力计算公式与喷嘴压力降计算公式混为一谈是不妥的,立论是不成立的。

如图所示(见图),根据实际流体的伯努利方程可写出通过喷嘴的紊流压力降  $\Delta P$  的公式为

$$\Delta P = P_1 - P_2 = (\rho/2)V_1^2 + \xi(\rho/2)V_1^2$$

式中  $\xi$  —— 喷嘴的局部阻力系数。

等式右边的第一项即  $(\rho/2)V_1^2$ , 表示钻井液通过喷嘴时压能转换成射流的动能。右边的第二项即  $\xi(\rho/2)V_1^2$ , 表示钻井液通过喷嘴时产生的局部压力损失,它等于局部阻力系数与流体动压的乘积。在一般情况下局部阻力系数与喷嘴的几何形状和钻井液流体的雷诺数  $R_e$  有关。不过钻井液通过喷嘴时速度很高,受到的扰动很大,粘滞性摩擦力起的作用很小,因此  $\xi$  值主要取决于喷嘴的几何形状,而受钻井液的  $R_e$  数影响很小。局部阻力系数  $\xi$  与喷嘴流量系数  $C$  的关系为



喷嘴图

$$C = \sqrt{\frac{1}{1+\xi}}, \quad \xi = \frac{1}{C^2} - 1$$

常用的几种高效喷嘴的  $C$  与  $\xi$  值见下表。

不同喷嘴类型的  $C$  与  $\xi$  值

喷嘴类型	圆弧形	椭圆形	锥型	双圆弧形	流线型	等变速型
流量系数 $C$	0.978	0.985	0.94~0.963	0.96~0.98	0.972	0.98
局部阻力系数 $\xi$	0.046	0.031	0.132~0.078	0.085~0.041	0.058	0.041

从表中可见,钻井液通过喷嘴时压力损耗是很小的。以  $\Delta P'$  表示钻井液在喷嘴处的压力损耗,则压力损耗与喷嘴压力的关系可由下式计算

$$\Delta P' / \Delta P = \xi / (1 + \xi)$$

根据上式可算出上述几种高效喷嘴中,压力损耗在喷嘴压力降中所占的比例为 3%~11.6%。

综上所述,钻井液在喷嘴处性能变化,对钻井液在喷嘴处的压力降和喷射速度的影响很小。

### 三、机理初探

钻井液在钻头喷嘴处粘度等性能的变化对机械钻速产生较大影响的原因是改善了喷嘴射流的质量,有利于破岩及清洗井底。根据文献[5]有

$$ROP_2 = ROP_1 \times 10^{0.03(\overline{PV}_1 - \overline{PV}_2)}$$

式中  $ROP_1$ ——初始机械钻速;  $ROP_2$ ——末期机械钻速;  
 $\overline{PV}_1$ ——初始塑性粘度;  $\overline{PV}_2$ ——末期塑性粘度。

上式中的塑性粘度在钻头处和井底相当于喷嘴粘度,它表示了机械钻速随着喷嘴粘度的降低而提高。另外由于钻井液在钻头处的初始滤失量的增大对提高机械钻速也产生了有利的影响。机械钻速与初始滤失量的关系为

$$ROP_2 = ROP_1 \left( \frac{WL_2 + 35}{WL_1 + 35} \right)$$

式中  $WL_1$  和  $WL_2$  分别是滤失量的初始和末期值 ( $\text{cm}^3/30\text{min}$ , 折合修正值)。

在井底,钻井液粘度降低可以减小钻头与岩石接触之前将它排开时所消耗的能量,并且可以提供一种使钻头牙齿冲击力增大导致机械钻速提高的低粘性的缓冲垫。钻井液较大的初始滤失量能更好地帮助消除钻屑在井底的压持效应和降低岩石可钻强度,从而提高了机械钻速。在喷射钻井中,采用聚合物低固相不分散钻井液和井下用钻井液固相分离器能改善井底钻井液的性能,改善井底射流质量,较大幅度地提高机械钻速。

(本文收到日期,1992年2月25日)

[本文责任编辑 应硕源]

### 参 考 文 献

- [1] 罗平亚:适于喷射钻井泥浆体系研究,《钻井泥浆》第1期,第1~15页,1986年
- [2] 陈乐亮:科学打探井对钻井液提出的特殊要求,《钻井液与完井液》第2期,第1~3页,1987年
- [3] 洪培云:聚合物钻井液流变特性的现场调查,《石油钻采工艺》第2期,第37~38页,1987年
- [4] 范维庆等:低喷嘴粘度的钻井液及其应用,《石油钻采工艺》第5期,第29~31页,1989年
- [5] 张绍槐等编译:《现代钻井技术》,石油天然气总公司科学情报研究所,1983年12月