

紊流减阻液在钻孔中的初步应用与研究

曾祥熹 邓传付 赵同顺*

(中南矿冶学院)

紊流减阻特性已为许多工业部门所注意,并已得到初步应用,如舰艇的加速,液体物料的运送,水力压裂地层,等等。在钻探工作中,研究紊流条件下降低循环压力损失(泵压),对于常处于紊流状态下且泵压较高的金刚石钻进和冲击回转钻进,具有重要的意义。举例来说,现用岩心钻探水泵,泵压只有40~60大气压,使环空间隙小、泵压损失大的绳索取心钻进的孔深受到限制。如能在不改变现有泵设备和不增加设备功率的前提下,采用紊流减阻液钻进,降低泵压,就可以相对增加钻孔深度。我们的初步工作证明,这样做是可能的。

许多高分子聚合物水溶液都具有减阻特性,最大减阻值可达70%以上,泵压可减少约3/4。大多数的减阻值可达50%以上。这是一个很可观的数字,值得重视。

当然,孔内情况比较复杂,影响因素较多(如岩粉的吸附,回转剪切降解,温度变化,等等),与地表试验不尽相同,因此,要想使紊流减阻液用于生产,还需做大量的试验研究工作,并弄清其减阻机理。

减阻的定义

这里讲的减阻,系指流体作紊流流动时,流体内部液层间摩擦阻力(摩阻)的减少。减阻试验可在管式试验装置上进行。如属牛顿流体,其阻力(摩阻)系数可用下式计算:

$$\lambda = 2 \frac{d}{l} \cdot \frac{\Delta P}{\rho u^2} \quad (1)$$

式中, λ —阻力系数(无因次); d —管径;
 l —管长; ΔP —压力降; ρ —流体密度; u —平均流速。

雷诺数据按下式计算:

$$Re = \frac{u d \rho}{\nu} = \frac{u d \rho}{\eta} \quad (2)$$

式中, ν —运动粘度($\nu = \eta / \rho$); η —动力粘度;其他符号同式(1)。

减阻百分数可按加入聚合物前后的阻力系数或压力降进行比较得出:

$$\frac{\lambda_s - \lambda_p}{\lambda_s} \times 100\% \quad (3)$$

或
$$\frac{\Delta P_s - \Delta P_p}{\Delta P_s} \times 100\% \quad (4)$$

式中, λ_s , λ_p —分别为加入聚合物前、后的阻力系数; ΔP_s , ΔP_p —分别为加入聚合物前、后的压力降。

PHP减阻试验

下面以笔者进行水解聚丙烯酰胺(PHP)

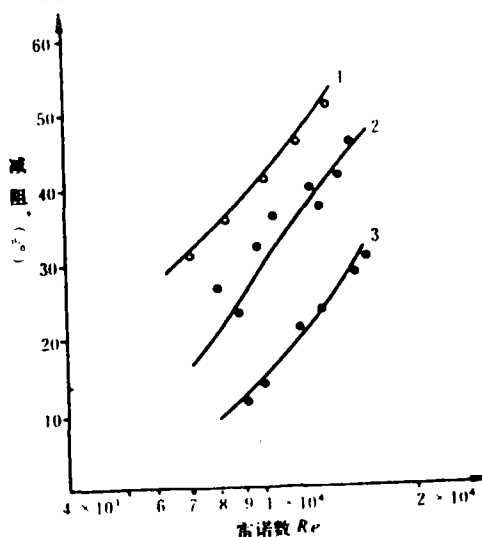


图1 PHP随雷诺数变化的减阻百分数
(半对数坐标)
1—分子量1054万,水解度25.7%; 2—分子量600万,水解度30%; 3—分子量300万,水解度30%; (浓度约50 ppm,试验管径14 mm)

* 系我院83级毕业生。

水溶液减阻试验的部分数据加以说明。由于 P H P 浓度低于 200 p p m, 故可看作是牛顿流体, 按前述公式处理, 室内试验结果见图 1、2、3。

由图 1 可见, 减阻百分数是随分子量和雷诺数的增加而上升的。对于 1054 万分子量的 P H P 而言, 当 $R_e = 16000$ 时, 减阻达 58%; 分子量为

600 万, $R_e = 16500$ 时, 减阻达 45%。P H P 浓度增加时, 减阻百分数还会上升。

图 2 为阻力系数 λ 与雷诺数 R_e 的关系曲线。它们与 V_{irk} 最大减阻线还有一段距离。该减阻线在 $R_e = 10000$ 时, 减阻可达 72%, 而 100 p p m 的 P H P 减阻为 56%, 两者相差 16%。

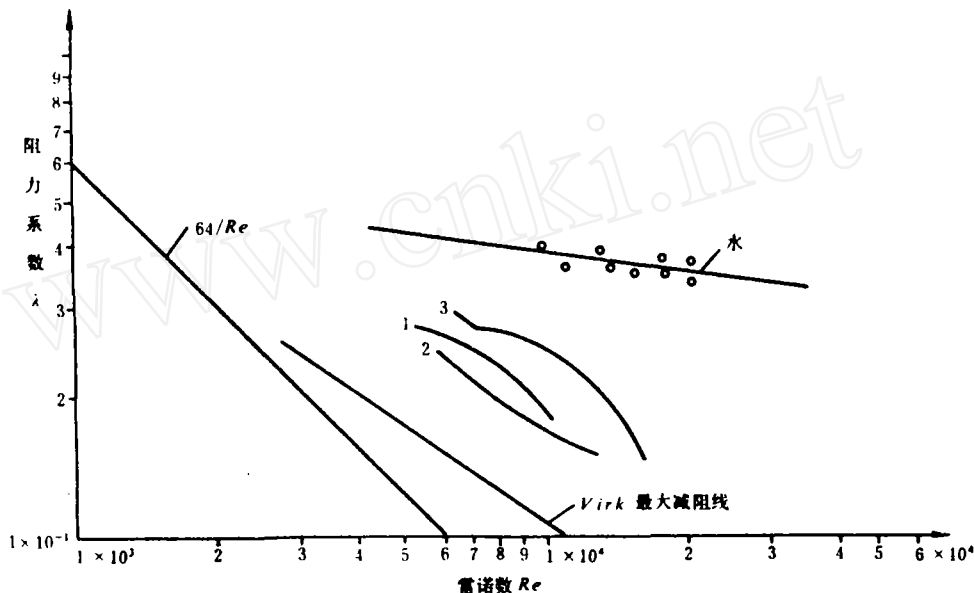


图 2 阻力系数 λ 与雷诺数 R_e 关系曲线
(双对数坐标)

1—200 p p m; 2—100 p p m; 3—50 p p m
(P H P 分子量 1054 万, 水解度 25.7%)

图 3 是剪切速率及管径相同条件下不同浓度 P H P (分子量 1054 万) 的减阻效果。由图可见, P H P 浓度为 0 ~ 50 p p m 时, 减阻百分数上升最快。超过 100 p p m 后开始缓慢下降。在 50 ~ 150 p p m 之间, 最大减阻达 60%。

在一个勘探队进行的生产试验证明, P H P 水溶液也可以减阻。所钻钻孔为 $\phi 56$ 的金刚石钻孔, 孔深 135 米, 用分子量为 300 万的 P H P (水解度约 60%) 减阻, 浓度为 150 ~ 200 p p m。未加 P H P 前泵压为 24 大气压, 加 P H P 后降为 18 大气压, 减阻 24%。钻孔漏失量由 50 升/分降低到 30 升/分, 减少 40%。由于环空返速比在未加 P H P 前增加, 使环空压降增加, 因此实际减阻超过 24%。如试验浓度降至 100 p p m 左右, 减阻

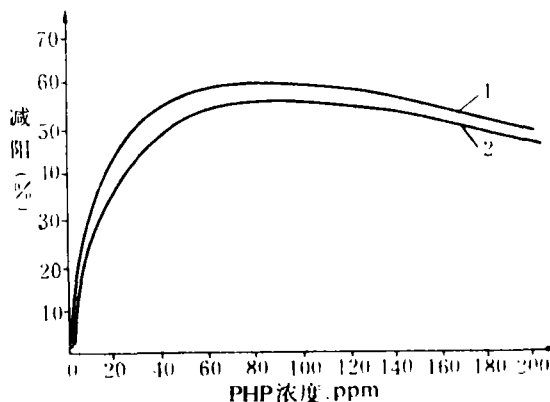


图 3 剪切速率相同时不同浓度 P H P
的减阻百分数曲线

1—剪切速率为 660 s^{-1} ; 2—剪切速率约为 580 s^{-1}
(P H P 分子量 1054 万, 水解度 25.7%)

百分数还会提高。孔内岩粉对P H P的吸附, 会引起P H P浓度的变化。在高剪切(如通过冲击回转钻具和小直径涡轮钻具)和高速回转的情况下, 高分子的降解会使分子量变小, 从而影响减阻效果。

减阻机理

紊流减阻的机理尚不清楚。已提出了“线型高分子减阻”、“壁面效应”、“粘度各向异性”等理论。当流体中存在线型高分子物时, 由于其分子链上吸附了众多的水分子, 在较高的剪切速率下分子链伸直, 水分子受高分子链节影响, 减少了纵向振动, 避免了小旋涡的产生, 有效地抑制了紊流的发展, 减少了紊流能量消耗。也可以用粘弹性理论来解释。

非牛顿流体的紊流减阻机理更为复杂。非牛顿流体在紊流时其剪切速率是不确定的, 有效粘度也发生变化, 所得雷诺数也不相同, 可用广义雷诺数 R_e' 表示:

$$R_e' = \frac{d u \rho}{g k' \left(\frac{8 u}{d} \right)^{n'-1}} = \frac{d^{n'} u^{2-n'} \rho}{g k' 8^{n'-1}} \quad (5)$$

式中, k' —广义稠度系数;

$$k' = \left(\frac{3n+1}{4n} \right)^n k \quad (6)$$

n' —广义幂律指数,

$$n' = \frac{d \left(\log \frac{dP}{dl} \right)}{d \left(\log \frac{8u}{d} \right)} \quad (7)$$

式中, 括号外的 d 是微分符号, 括号内的 d 是管径; n 是流性指数(幂律指数), n' 可看作等于 n ; k 为稠度系数; P 为压力差; g 为重力加速度; 其余符号同式(1)。

浓度较大的高分子聚合物水溶液(无粘土冲洗液)和泥浆, 均属于非牛顿流体。其变化规律也有与牛顿流体相似之处, 即阻力系数 λ 随广义雷诺数的增加而降低(减阻百分数则增高)。而 R_e' 又与 n, k 值有关, 随 n, k 值的增加, R_e' 值减少, 即阻力系数增加。

但必须注意, 紊流减阻与层流的剪切稀释作用是不相同的。层流剪切稀释作用是结构粘度的减少, 而紊流减阻机理还有待研究。它也与润滑减阻的作用有区别, 对金刚石钻进来说, 后者是解决提高钻具转速问题, 而它是立足于降低泵压。

值得研究的课题

从金刚石钻进及各种液动孔底动力钻具发展等需要来看, 研究紊流减阻冲洗液是有现实意义及长远意义的。在不稳定岩层中钻进, 需要的是既能护壁又能减阻的冲洗液, 而要做到这一点, 只有用某些高分子聚合物配制的无粘土冲洗液, 才可能实现。

JU1000型钻机上的卡瓦的修复

JU1000型钻机回转体的上卡瓦属于易损件。我们把旧的上卡瓦经退火处理后, 在上卡瓦内面磨损处刨削1~2毫米, 然后按图纸原样重新刨齿形, 其他尺寸不动。在上卡瓦与压板之间加一块钢板, 其厚度视上卡瓦的刨削量而定, 要保证总厚度不变(见图)。修复后的组件装配后不影响使用, 延长了卡瓦寿命, 维修费用是新卡瓦价格的7%。

此法加工方便, 节约原材料和加工时间, 并适用于其他类似的钻机。

(华东有色地质勘探公司810队 徐寿生)

