

# 润滑钻井液在碎岩过程中的作用机理

音 凡 王星华

(中南工业大学)

文章讨论了润滑钻井液在人造金刚石钻进中的作用,并提出:①与清水比较,润滑钻井液既可提高也可降低钻进效率和钻头寿命;②润滑钻井液对硬岩钻进影响大,对软岩影响小;③对金刚石润滑与冷却作用好的钻井液,提高钻进效率与寿命明显;相反,则不明显,甚至起反作用。用试验方法证明了上述观点。

**关键词:** 润滑钻井液; 作用机理

润滑钻井液可以大幅度提高人造金刚石钻进效率与钻头寿命,已是公认的事实。但是,对润滑钻井液能否提高钻进效率与钻头寿命,如能提高,作用机理是什么?一直存在争论。

我们认为润滑钻井液对金刚石的工作温度和胎体的磨损有重要影响。

金刚石的硬度与强度对温度非常敏感。试验发现<sup>[1]</sup>,用铜或玻璃与金刚石高速摩擦,可使金刚石磨损,因为金刚石表面产生高温,使之表面石墨化或碳化,致使硬度、强度大幅度降低。这说明在高温时,金刚石的硬度还不如铜与玻璃。可见温度对金刚石的影响之大。目前,润滑钻井液是降低金刚石工作温度的唯一手段。对金刚石有好的润滑、冷却作用的钻井液,可以降低金刚石的工作温度,使其保持较高的硬度与强度,从而提高钻进效率与钻头寿命,尤其是在硬岩中钻进时;如果钻井液的润滑、冷却作用不好,即使钻进软岩,钻进效率也会受到影响。

润滑钻井液对胎体,同样有润滑、冷却作用,影响胎体的磨损。胎体的磨损速度也将影响钻头的钻进效率与钻头寿命。

为此,我们认为应当测定钻井液对金刚石与胎体的润滑、冷却作用,寻找它们与钻进效率、钻头寿命的关系,以便正确地使用

与研制各种不同类型的润滑钻井液来提高钻进效率与钻头寿命。但遗憾的是我们未能找到简单的测量冷却速度的方法。只测量了钻井液对金刚石、胎体的润滑作用。在试验中,意外地发现,润滑成分与胎体的吸附,对金刚石的冷却却有着非常大的影响,并由此证明了润滑钻井液对金刚石冷却作用的重要性。

据此,进行了以下的工作:

(1)测定各种钻井液对金刚石—石英岩摩擦付的润滑作用。研究的对象是硬岩。一般岩石的硬度与其中石英的含量有密切关系,因此,选择石英岩作为摩擦一方,具有代表性。

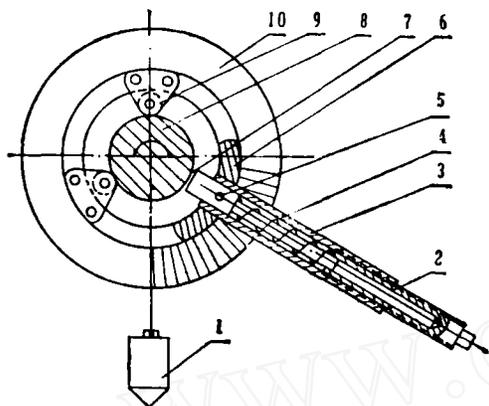
(2)测定各种钻井液对胎体—岩石摩擦付的润滑作用。岩样也选择石英含量很高的硅化灰岩。

(3)选择了几种有代表性的钻井液进行钻进试验。

## 钻井液对金刚石—石英 岩摩擦付的润滑作用

### 1. 试验仪器与试验方法

为了测定金刚石—石英岩的摩擦系数,设计了下图所示的仪器。



金刚石—石英岩摩擦系数测定装置

- 1—重锤；2—压紧螺杆；3—套管；4—弹簧；  
5—销子；6—圆环；7—金刚石；8—石英岩心，9—  
压滚；10—刻度盘

把金刚石镶在压头上。压头在弹簧的作用下，压在石英岩岩心上。石英岩岩心由电动机直接带动旋转。由于金刚石与石英间存在着摩擦力，带动圆环一起转动。当圆环转到一定位置后，使压头、连杆由于重力而形成对圆心的力矩与摩擦力矩相平衡。这时圆环不再转动，由刻度指出圆环回转角度的大小。角度越大，说明金刚石与石英的摩擦系数越大。仪器使用的是大颗粒天然金刚石。

在测试前，先将石英及金刚石两者的表面清洗干净，然后用待测液体冲洗摩擦表面进行测量。每次测定一升液体，在液体流完时，读出  $x$  值，并将此值代入公式：

$$\mu = 0.3443 \sin x$$

计算，得出摩擦系数  $\mu$  值。

## 2. 测定结果

油酸的润滑性最好， $\mu = 0.048$ ，OP-10的润滑性最差， $\mu = 0.253$ ；皂化油、油酸钠与癸脂钠皂的润滑性都很好，而松香酸钠稍差；磺酸盐中AS、ABS的润滑性比羧酸盐差，但其中胰加漂T特殊，它与油酸钠、皂化油相当；十二烷基硫酸钠的润滑性虽然不如以上的表面活性剂好，但与清水相

比，仍然有很好的润滑性。几种阳离子表面活性剂如：十二烷基三甲基苄基氯化铵 ( $\mu = 0.102$ )，十六烷基三甲基溴化铵 ( $\mu = 0.095$ )，十二烷基三甲基溴化铵 ( $\mu = 0.106$ ) 都有良好的润滑作用。非离子聚氧乙烯醚类表面活性剂对金刚石—石英的润滑作用很差，如OP-10、TW-40等，但多元醇类非离子表面活性剂SP-20却有很好的润滑性。泥浆对金刚石—石英的润滑性很差，加皂化油可提高它的润滑性。PHP、Na-CMC对金刚石—石英也有较好的润滑性。

## 润滑钻井液对胎体—岩石摩擦付的润滑作用

### 1. 测量方法

将ZC-1型钻井液摩擦系数测定仪进行改装，把仪器上的钢轴换成与钻头胎体相同成分的硬质合金轴，原岩石试样不变，测量它们之间在钻井液冲洗下的摩擦系数。

### 2. 测量结果

从数据中可看出，大多数液体对胎体—岩石摩擦付的润滑作用，比对钢—岩石摩擦付小，如油酸钠、皂化油、松香酸钠钻井液可把钢—岩石的摩擦系数降至0.10~0.15，而对于胎体—岩石摩擦系数仅降至0.26~0.37；油酸钠、癸脂钠皂、松香酸钠的  $\mu$  值小于皂化油；十二烷基苯磺酸钠 ( $\mu = 0.44$ )、十六烷基磺酸钠 ( $\mu = 0.44$ )，与十二烷基硫酸钠 ( $\mu = 0.45$ ) 对胎体的润滑作用相似。阳离子表面活性剂十六烷基三甲基溴化铵 ( $\mu = 0.30$ )、十二烷基三甲基苄基氯化铵 ( $\mu = 0.33$ )、十二烷基三甲基溴化铵 ( $\mu = 0.39$ ) 对胎体—岩石都有较好的润滑作用。前二者超过了皂化溶解油 ( $\mu = 0.37$ )；Na-CMC ( $\mu = 0.39$ ) 对胎体—岩石的润滑作用与皂化溶解油相当。聚氧乙烯醚类表面活性剂对胎体—岩石的润滑作用都不好，而多元醇非离子表面活性剂SP-20润滑性却较

好。

在试验中发现冲洗液对胎体—岩石的润滑与摩擦表面上的油垢有密切关系。凡润滑性好的，油垢也较多。

### 试验台上的钻井试验

根据以上试验结果，可以看出各种润滑钻井液对金刚石与胎体的润滑是不相同的，当然它们的冷却作用也有差异。由于它们对金刚石的润滑、冷却效果不同，就会影响金刚石温度，从而影响金刚石的硬度与强度。因此，希望钻井液对金刚石有较好的润滑与冷却作用，但对胎体润滑要求又不一样。在钻进硬岩石时，一般希望胎体磨损快些，并不要求钻井液对胎体有非常好的润滑性。所以预计那些对金刚石有好的润滑性，而对胎体不具有好的润滑性的钻井液，在钻进硬岩石时，会提高钻进效率，相反就会降低钻进效率。为了检验这种观点，进行了室内试验。

#### 1. 试验方法

考虑到影响钻进效率的因素很多，为此采用了室内试验的方法。在试验中保持钻进规程不变，试验的岩样选用“人造岩石”——瓷砖。为了免除“岩石”性质影响试验结果，试验时每组选10~15块瓷砖，每块瓷砖打两个孔，一种钻井液打左边的孔，另一种钻井液打右边的孔。

由于人造孕镶金刚石钻头性能变化较难控制，要想使钻头性能在每个回次都保持同样的状态太困难。但是，钻头性能变化的本身就说明钻井液作用的好坏。

#### 2. 试验条件

钻机：Z25K摇臂钻床；水泵：丰产—36型三缸单作用往复柱塞泵；钻头： $\phi 29$ 孕镶人造金刚石钻头，三个水口，金刚石粒度为80目，浓度20%。

岩石试块为耐酸标准砖，抗压强度 $> 650\text{MPa}$ ，抗拉强度 $> 50\text{MPa}$ ，摩氏硬度8~9。玉髓岩石石英含量 $> 95\%$ 。

钻头转速：980r/min；泵量：3L/min；  
钻井液浓度：0.1%（不重复使用）。

#### 3. 试验结果

共进行了四组试验。三组试验以瓷砖为岩样，一组试验为玉髓岩心。

清水与皂化溶解油的摩擦系数 $\mu$ 值 表 1

| 钻 井 液         | 摩 擦 付  |       |
|---------------|--------|-------|
|               | 全刚石—石英 | 胎体—岩石 |
| 皂化溶解油（浓度0.1%） | 0.060  | 0.37  |
| 清 水           | 0.24   | 0.58  |

钻进效率对比(m, h) 表 2

| 时 效  | 钻 井 液 |       |
|------|-------|-------|
|      | 皂化溶解油 | 清 水   |
| 最高时效 | 0.959 | 0.017 |
| 最低时效 | 0.034 | 0.001 |
| 平均时效 | 0.095 | 0.004 |

注：钻压534kg。

（1）第一组试验：对比清水与皂化溶解油乳化液的钻进效率。岩样：玉髓岩心。两种液体的润滑性能见表1。钻进试验结果列于表2。

从表中数据可以看出，由于皂化溶解油对金刚石有好的润滑性，钻进效率比清水高20倍左右。皂化油的最低效率(0.034m/h)比清水的最高效率(0.017m/h)还要高。当然，这个数据的准确性是很低的，但是它说明皂化油可以提高钻进效率这一事实，是毫无疑问的。

事实上，根据大量试验，我们有这样一种印象：对于孕镶人造金刚石回转钻来讲，岩石越硬，润滑钻井液的作用越明显，而对于软的岩石，润滑钻井液提高钻进效率的作用就变得不太明显。

（2）第二组试验：用松香乳化油与油酸钠两种乳化液，在瓷砖上进行钻进对比试验。它们的润滑性能见表3。

由表中数据可以看出，松香乳化油与油酸钠对金刚石—石英的摩擦系数相等，但对

润滑钻井液  $\mu$  值 表 3

| 钻 井 液          | 摩 擦 付  |       |
|----------------|--------|-------|
|                | 金刚石-石英 | 胎体-岩石 |
| 松香乳化油 (浓度0.1%) | 0.066  | 0.39  |
| 油酸钠 (浓度0.1%)   | 0.066  | 0.26  |

胎体的润滑作用大不相同,松香乳化油的  $\mu$  值较油酸钠高50%,钻进试验结果如表4。

钻进效率对比(m h) 表 4

| 时 效  | 钻 井 液 |       |
|------|-------|-------|
|      | 油 酸 钠 | 松香乳化油 |
| 最高时效 | 1.085 | 2.30  |
| 最低时效 | 0.639 | 0.721 |
| 平均时效 | 1.091 | 1.541 |

注:每个回次长度:220mm,钻压:534kg。

由表4数据可以看出,由于松香乳化油对胎体-岩石的润滑性差,亦即对胎体的清洗作用好,有利于金刚石散热,使新的金刚石出露,它与油酸钠相比钻进效率约提高41.2%。

(3) 第三组试验:用皂化油与十二烷基苯磺酸钠进行对比试验。十二烷基苯磺酸钠对金刚石-石英、胎体-岩石的润滑都不如皂化溶解油,见表5。

十二烷基苯磺酸钠对金刚石-石英的摩擦系数比皂化油高49%。钻进试验结果见表6。

十二烷基苯磺酸钠不仅对胎体的润滑作用不好,对金刚石的润滑作用也不理想。

(4) 第四组试验:对比山苍子乳化油与皂化溶解油两种钻井液的试验,目的是观察胎体上油垢对钻井液效率的影响。山苍子乳化油是一种部分皂化的山苍子核仁油,这种乳化油溶于水后形成很稳定的乳化液,但极易在固体表面沉淀形成油垢。因此它对胎体有很好的润滑性。它的性能见表7。

由表7可知,两种钻井液对金刚石的润滑作用差不多,但山苍子乳化油对胎体的润滑好得多。

钻井液摩擦系数  $\mu$  值 表 5

| 钻 井 液    | 摩 擦 付  |       |
|----------|--------|-------|
|          | 金刚石-石英 | 胎体-岩石 |
| 皂化溶解油    | 0.060  | 0.37  |
| 十二烷基苯磺酸钠 | 0.089  | 0.44  |

钻进效率对比(m h) 表 6

| 时 效  | 钻 井 液 |          |
|------|-------|----------|
|      | 皂化溶解油 | 十二烷基苯磺酸钠 |
| 最高时效 | 2.17  | 1.99     |
| 最低时效 | 0.61  | 0.16     |
| 平均时效 | 1.54  | 0.90     |

注:每回次长度为220mm。

钻井液摩擦系数  $\mu$  值 表 7

| 钻 井 液          | 摩 擦 付  |       |
|----------------|--------|-------|
|                | 金刚石-石英 | 胎体-岩石 |
| 皂化溶解油 (浓度0.1%) | 0.060  | 0.37  |
| 山苍子乳化油(浓度0.1%) | 0.056  | 0.24  |

从试验中发现,用山苍子乳化油钻井液钻进,后来干脆不进尺了,将钻头从钻孔中取出后,发现整个钻头都粘满了油垢。唇面上的油垢几乎将全部金刚石盖住。洗去油垢,金刚石出露很好,但金刚石有磨平现象。

## 讨 论

综上所述,润滑钻井液对人造金刚石钻进的影响,无论在室内,还是室外都得到了证明。这是由人造金刚石钻进方法的特点所决定的:①破碎岩石的切削具是金刚石;②高速磨削。这就出现了一个问题:金刚石怕高温,而高速磨削又产生高温。“降温”是人造金刚石钻进中不可忽视的问题。而润滑钻井液是一种有效的降温手段。它的润滑、冷却作用好,金刚石的工作温度低,钻井效率与钻头寿命就高;相反,就低。

第一组试验不仅证明润滑钻井液可以明显提高钻井效率,还说明它对硬岩钻进的作

用更明显。这是因为：①岩石越硬，金刚石与岩石接触面越小，金刚石局部表面温度越高，金刚石软化越厉害；②岩石越硬，对金刚石的硬度与强度要求越高，因此对金刚石的软化也就非常敏感。

各种钻井液对于金刚石的冷却作用应当是不同的，但要想测量它们的冷却作用又很困难。从理论上分析，表面活性剂溶液对于固体的冷却效果不如清水。原因在于，高温时，容易在固体表面形成气泡，影响固体的散热；在温度较低时，表面活性剂在固体表面的吸附，出现“自憎”现象，也影响固体表面的冷却。这些分析，是否正确，有待进一步的研究。

实验发现，凡是对胎体有很好润滑性的钻井液，都会在胎体上形成明显的油垢，并且油垢越多，钻进效率越低。我们认为这是由于在胎体上形成油垢后，就如同给金刚石穿上一身“棉袄”，起了保温作用，使金刚石更易过热、软化，从而影响钻进效率。这种现象不仅在钻进硬岩时有，在钻进软岩时也同样会出现。

胎体是金刚石赖以存在的基础，它的磨损速度对钻头效率与寿命有重要的影响。钻进研磨性大的地层，提高钻井液对胎体的润滑作用，也是可以延长钻头寿命的。

## 结 论

1. 不同钻井液对金刚石、胎体的润滑作用是不相同的。

2. 在胎体上形成的油垢，对金刚石的冷却有重要的影响。

3. 在一般情况下，润滑钻井液对硬岩钻进的影响大，对软岩的影响小。

4. 不同的润滑钻井液，对钻进效率与钻头寿命影响不同。只有那些对金刚石具有好的润滑、冷却作用，而又不在胎体上形成油垢的钻井液，才能明显地提高在硬岩中的钻进效率。

以上意见愿与同行讨论。

## 参 考 文 献

- [ 1 ] Tweeton Dargl R., et al., Bull. Minse RI 8186, 1976.
- [ 2 ] Westwood A. R. C., et al., Trans of AIME, Vol. 256, №2, June, 1974, p. 106—121.
- [ 3 ] Engelmann William H., et al., Trans of AIME, Vol. 258, №3, Sept., 1975.
- [ 4 ] Bowden F. P., et al., Proceeding of the Royal Society of London, Section A, Vol. 248, № 1254, 1958, p. 368—378.
- [ 5 ] Bernard Higgins, Geodrilling, №3, 1984, p. 15—18.
- [ 6 ] 瓦依诺夫 Ф. А. 等, Разведка и охрана недр. №5, 1984.

## Mechanism of Lubricant Drilling Fluid in Rock Fracturing

Lu Fan Wang Xinghua

The role of lubricant drilling fluid paid in synthetic diamond drilling is discussed. It follows that: (1) compared with clear water, the fluid is able to increase or decrease the drilling efficiency and to prolong or reduce the bit life; (2) the effect of the fluid is much greater on hard rocks than on soft ones; (3) the fluid that yields a good lubrication and cooling result for the diamond will distinctly raise the drilling efficiency and prolong the bit life. Otherwise, it will not, or even give a negative effect. Above-mentioned view points have been confirmed by experiments.