

618372

润滑钻井液

鲁 凡 编著

• 中南工业大学出版社 •

RUN HUA ZUAN JING YE

4

润 滑 钻 井 液

鲁 凡 编著

责任编辑：梅敦诗

*

中南工业大学出版社出版发行
湖南省地质测绘印刷厂印装
湖南省新华书店经销

*

开本：787×1092 1/32 印张：9.75 字数：227千字

1988年10月第1版 1988年10月第1次印刷

印数：0001—1500

*

ISBN 7-81020-173-5/TD·010

定价：1.60元

内 容 提 要

本书介绍了人造金刚石钻进润滑钻井液的作用原理与测试方法，摩擦、磨损与边界润滑，表面活性剂知识，润滑钻井液理论，润滑剂配方与研制方法，润滑钻井液在碎岩过程中的作用等方面内容。

本书着重对润滑钻井液基本理论及与其有关的理论做了较详细的介绍。对润滑剂的研制方法，国内外润滑钻井液的使用情况也做了相应的叙述。本书可供探矿工程专业学生及钻探生产技术人员参考。

前 言

润滑钻井液是人造金刚石岩心钻探技术必不可少的手段。随着人造金刚石钻头的推广使用，润滑钻井液也得到了很大的发展。

在人造金刚石岩心钻探中，润滑钻井液的成本占有很大的比重。有的勘探队润滑钻井液的成本相当金刚石钻头的 $1/3 \sim 1/2$ 。如果考虑到润滑钻井液对钻头、钻杆、钻具寿命的影响，对钻进效率的影响，它在钻探技术上就占有更重要的位置了。为了降低钻探成本，提高钻进效率，很多人在寻找新的，性能更好的廉价润滑钻井液，并且已经取得了很大的进展。

本书为了促进润滑钻井液的研究，提供一些有关润滑钻井液的基本知识，供探矿工程专业学生及钻探技术人员参考。

第一章介绍润滑钻井液的作用、分类及测量手段。第二、三章介绍摩擦、磨损、边界润滑与表面活性剂基本知识。这两章内容主要是根据一些专门文献编写的。第四章介绍润滑钻井液基本理论。第五章介绍国内外常用的润滑钻井液。第六章介绍润滑钻井液在碎岩过程中的作用。

由于作者水平有限，错误难免，请读者批评指正。

音 凡

1988年5月

目 录

第一章 概 论	(1)
第一节 润滑钻井液的作用.....	(1)
第二节 润滑钻井液分类.....	(9)
第三节 润滑钻井液的测量手段与方法.....	(12)
第二章 摩擦、磨损与润滑	(25)
第一节 固体的摩擦.....	(25)
第二节 磨损原理.....	(44)
第三节 边界润滑.....	(52)
第三章 表面活性剂	(74)
第一节 概 述.....	(74)
第二节 表面活性剂.....	(88)
第三节 表面活性剂在界面上的吸附.....	(140)
第四节 表面活性剂在溶液中的状态.....	(153)
第五节 表面活性剂的功能.....	(160)
第六节 表面活性剂化学结构与性质的关系.....	(172)
第四章 润滑钻井液基本理论	(180)
第一节 钢与岩石的摩擦.....	(180)
第二节 润滑剂的润滑作用.....	(182)
第三节 润滑剂溶液与乳化液的减摩特性.....	(184)
第四节 表面活性剂溶液的润滑作用.....	(185)
第五节 添加剂对表面活性剂溶液润滑作用的影响.....	(192)
第六节 无机电解质对表面活性剂润滑作用的影响.....	(196)
第七节 表面活性剂溶液的抗硬水能力.....	(202)
第八节 溶液中表面活性剂与岩粉的吸附.....	(205)

第九节	乳化液的润滑机理·····	(211)
第十节	油垢的形成·····	(219)
第十一节	岩粉对钻井液润滑作用的影响及岩粉絮凝 ·····	(221)
第五章	润滑钻井液各论·····	(228)
第一节	溶液型润滑钻井液·····	(228)
第二节	乳化液型润滑钻井液·····	(242)
第三节	聚合物型润滑钻井液·····	(260)
第四节	泥浆型润滑钻井液·····	(262)
第六章	润滑钻井液在碎岩过程中的作用·····	(267)
第一节	概 述·····	(267)
第二节	钻井液对金刚石-石英岩摩擦副的润滑作用 ·····	(268)
第三节	钻井液对胎体-岩石摩擦副的润滑作用 ·····	(273)
第四节	润滑钻井液对钻进效率的影响·····	(278)
第五节	润滑钻井液对钻头寿命的影响·····	(284)

第一章 概 论

第一节 润滑钻井液的作用

在用人造孕镶金刚石钻头钻进时，为了减少钻杆、钻具在孔内的回转阻力，提高转速，必须在孔内使用润滑钻井液。润滑钻井液除了具有一般钻井液的功能，如：冷却钻头、排粉、护壁等作用外，还有润滑作用。它对钻杆、钻具与孔壁的摩擦；对金刚石与岩石的摩擦；对钻头胎体与岩粉的摩擦都起润滑作用。润滑钻井液在以下方面有明显的效果。

一、减小钻杆、岩心管在孔内回转的阻力

钻杆由于承受压力（垂直载荷）、钻杆在孔内呈正弦波状态。当钻杆高速回转时，就会产生很大的离心力，使钻杆压向孔壁。岩石与钻杆在水中摩擦时具有很大的摩擦系数（可达0.4~0.5左右），因此孔壁对钻杆的回转产生极大的阻力。

根据库伦定律，孔壁对钻杆产生的摩擦阻力为：

$$F = N \cdot f \quad (1-1)$$

式中：N——钻杆回转时对孔壁产生的压力；

f——钻杆与孔壁在钻井液中的摩擦系数。

在钻进时，使钻杆对孔壁产生压力的原因可能有三个：

①、钻杆由于承受垂直载荷而对孔壁产生侧向压力；②、钻杆由于传递扭矩产生变形对孔壁施加压力；③、钻杆在高速回转时产生离心力，对孔壁施加压力。钻杆对孔壁施加的压力越大，则孔壁对钻杆回转所产生的阻力也越大。为了弄清以上三种压力的大小，以下做一简单的分析。

1. 钻杆由于承受垂直载荷对孔壁产生的压力

在用人造孕镶金刚石钻头钻进时，钻杆直径与钻头直径非常接近，尤其是绳索取心钻进、钻孔直径仅比钻杆直径大几毫米。在这种情况下，钻杆由于承受垂直载荷产生的侧向压力（对孔壁压力）非常小，可以忽略不计（参看图1-1）。

2. 钻杆由于承受扭矩而产生的侧向推力

钻杆由于传递扭矩而产生的侧向推力也是不大的。这可以根据下式计算出钻杆的扭转角 φ 。

$$\varphi = \frac{M_k l}{GJ_p} \quad (1-2)$$

式中： φ ——钻杆传递扭矩而产生的变形—扭转角；

l ——钻杆长度；

M_k ——钻杆传递的扭矩；根据钻机电动机功率及下式可计算出 M_k 。

$$M_k = \frac{973.6K}{n} = \frac{973.6 \times 30}{1190}$$

$$= 24.5 \text{ 公斤} \cdot \text{米}$$

$$= 2450 \text{ 公斤} \cdot \text{厘米}$$

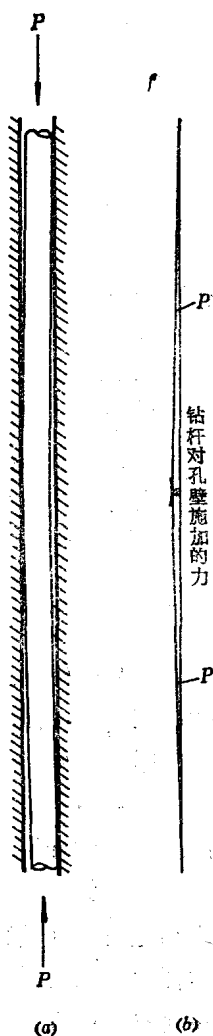


图1-1 钻杆在孔内状态示意图

a——钻杆在钻孔内的状态
b——钻杆承受垂直载荷而产生的侧向推力

式中： K ——钻机电动机功率，瓩。以JU—1000为例，取 $K = 30$ 瓩；

n ——立轴转速，转/分。以JU—1000为例，取 $n = 1190$ 转/分。

G ——钢的剪切弹性系数， 8.1×10^5 公斤/厘米²；

J_p ——钻杆断面的极惯性矩， $J_p = 0.1(D^4 - d^4)$ 。

D 为钻杆外径， d 为钻杆内径，以绳索取心钻杆为例， $D = 53$ 毫米， $d = 46$ 毫米。 $J_p = 34.1$ 厘米⁴。

将以上数据代入(1-2)式得

$$\varphi = \frac{2450 \times l}{8.1 \times 10^5 \times 34.1} = 8.87 \times 10^{-5} l$$

设钻杆长1米，即100厘米。则

$$\varphi = 8.87 \times 10^{-5} \times 10^2 = 8.87 \times 10^{-3} \text{弧度} = 0.51^\circ$$

由此可见，在钻杆承受最大扭矩时（电动机满负荷），每米钻杆的扭转角也只有 0.51° 。这是根据主动钻杆下面第一根钻杆计算的，它承受的扭矩最大。在钻孔深部的钻杆所承受的扭矩要小得多，产生的扭转角也小得多。在这样小的扭转变形下，钻杆不会在侧向给孔壁施加很大的压力。

3. 钻杆在高速回转时离心力对孔壁产生的压力

半个正弦波段的钻杆离心力

$$N' = me\omega^2 \quad (1-3)$$

式中： m ——半个波段的钻杆质量；

e ——钻杆断面重心回转半径；

$e = \text{钻孔半径} - \text{钻杆半径} = 30 - 26.5 = 3.5$ 毫米；

ω ——钻杆回转速度。

半个波段钻杆离心力可根据(1-4)式计算：

$$N' = \frac{ql^2\omega^2}{g\pi^2} \left(e \frac{\pi}{l} - \frac{1}{2} \ln \frac{l - e\pi}{l + e\pi} \right) \quad (1-4)$$

式中： q ——钻杆每米重量（包括钻井液重量）；

l ——钻杆半个波段的长度；

g ——重力加速度。

设： $q = 6.87$ 公斤/米

$e = 3.5$ 毫米 $= 3.5 \times 10^{-3}$ 米

$l = 4$ 米

$\omega = 1190$ 转/分 $= 19.83$ 转/秒 $= 19.83 \times 2\pi$ 弧度/秒

则

$$\begin{aligned} N' &= \frac{6.87 \times 4^2 \times (19.83 \times 2\pi)^2}{9.8 \times \pi^2} \times \\ &\quad \left(3.5 \times 10^{-3} \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \ln \frac{4 - 3.5 \times 10^{-3} \times \pi}{4 + 3.5 \times 10^{-3} \times \pi} \right) \\ &= 96.99 \text{公斤} \end{aligned}$$

在钻杆半波段为4米时，半个波段的钻杆作用在孔壁上的压力将近100公斤。由此看来，钻杆在高速回转时，对孔壁产生很大的压力。并由此可知，钻杆对孔壁的压力主要是由于离心力产生的。

以上计算把钻杆看作是在真空中回转，没有考虑环境介质的影响，事实上钻杆在钻井液中回转，与钻杆在真空中回转，对孔壁产生的压力是不相同的。这里是定性分析，把 N' 近似地看作 N 。

由以上可以看出，在高速回转时，钻杆对孔壁施加了很大压力，这时摩擦系数越大。则孔壁对钻杆回转所产生的阻力也越大。好的润滑钻井液可将钻杆与孔壁的摩擦系数0.4~0.5降低到0.12~0.15。这样，就使钻杆的回转阻力降低到只有原来阻力的1/3左右。

在知道摩擦阻力后，可按下式计算出钻杆回转时所消耗的功率。

$$W = M \cdot \omega \quad (1-5)$$

式中： M ——钻杆回转所需的力矩， $M = F \cdot r$ ， r 代表钻孔半径。

由此得

$$\begin{aligned} W &= F \cdot r \cdot \omega = N \cdot f \cdot r \cdot \omega = m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot f \cdot r \cdot \omega \\ &= m \cdot e \cdot r \cdot f \cdot \omega^3 \end{aligned} \quad (1-6)$$

由(1-6)式看出，钻杆在孔内回转所消耗的功率与转速 ω^3 成正比。这说明在高转速钻进时钻杆所消耗的功率较低，转速时高得多。在高转速钻进时，摩擦系数的大小对钻杆功率消耗有重要影响。因为功率消耗与摩擦系数成正比。在现场的实践中证明了这一点。用清水钻进时，一般在孔深70~80米时，就很难再达1000转/分的高速，而在使用润滑钻井液时，可在300~500米深的钻孔内开1190转/分进行钻进。在个别地区，孔深700米时，仍能开1190转/分的高转速钻进。没有润滑钻井液的使用，是不可想象的。

在(1-6)式中，钻杆回转所消耗的功率 W 与转速 ω^3 成正比的关系，是纯理论的，没有考虑在具体条件下的很多影响因素。计算结果与实测有较大的差别。这可能是由以下原因造成的：

1. 所计算的 N 值是根据钻杆在真空条件下计算出来的，没有考虑环境介质的影响。

环境介质—钻井液在钻杆高速回转时，将会减小钻杆对孔壁的压力。钻杆沿着孔壁高速滑动时，会使楔形间隙中的液体来不及一起转动（见图1-2），从而使间隙中的液体局部压力升高，阻止钻杆压向孔壁，减小了钻杆对孔壁的压力。钻井液

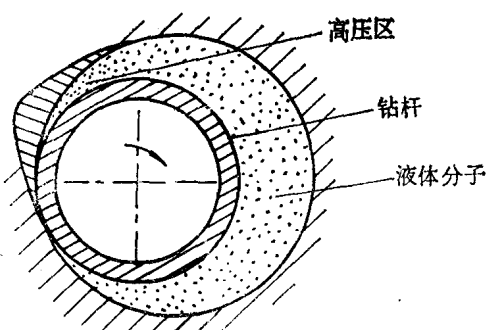


图1-2 钻井液局部高压区的示意图

塑性粘度越大，这种现象越明显⁽³⁰⁾。

2. 在公式中把摩擦系数 f 作为常数考虑。

这是认为钻杆在孔壁上的滑动速度及钻杆与孔壁之间压力的改变，不影响摩擦

系数。事实上，高速回转时，钻杆与孔壁的压力，滑动速度都较低速回转大得多，钻杆与孔壁的摩擦系数也不相同。公式中将摩擦系数作为常数考虑，计算结果也会与实测结果有误差。

3. 电动机的输入功率不等于电动机的轴功率

电动机的输入功率 P_1 大于电动机的轴功率 P_2 。如果设 $P_2 = a\omega^3$ ，并近似地认为 $P_2 = P_1 - C$ ，则可写成

$$P_1 - C = a\omega^3$$

或 $P_1 = a\omega^3 + C$

如令 $P_1 = a\omega^3 + C = a\omega^X$

则明显看出 $X \neq 3$

我们说钻杆消耗的功率与转速 ω^3 成正比，是指的电动机的轴功率，更准确地讲是钻机主轴功率与 ω^3 成正比，而不是指电动机输入功率与 ω^3 成正比。从以上证明来看， P_1 并不与 ω^3 成正比。

4. 时效的影响

润滑钻井液中岩粉的浓度对润滑性影响很大，岩粉浓度高，钻井液的润滑性差。在高转速钻进时，一般时效要高，产生的岩粉量多，钻井液中的岩粉浓度大，润滑性差。由此钻杆

回转消耗的功率也大。

总之，由于种种原因，使理论计算出的结果与实测有较大的差别。

二、减少了钻杆、岩心管的损坏与磨损

在70年代我国刚刚开始使用人造孕镶金刚石钻头时，某勘探队由于没有使用润滑钻井液，在孔深仅仅100米左右，就需要用60马力的柴油机来拖动(钻头直径为 $\phi 46$ 毫米)。钻杆经受不起如此大的负荷，经常发生断钻杆事故，钻杆损坏极多。同时由于钢与岩石在水中的摩擦系数极大(0.4~0.5)，钻杆、岩心管的磨损非常惊人。一根岩心管在清水钻进时，只能钻进十几米，最多不过几十米。使用润滑钻井液后，一根岩心管可钻几百米，磨损降低了十多倍。

三、减小了整个钻进体系的振动

使用清水钻进时，钻机高速回转，会使整个钻进体系发生强烈振动。这使钻机、钻杆、岩心管、钻头等大幅度降低使用寿命。产生强烈振动的原因有二：①孔内阻力大；②在孔内的钻杆是一种柔性体系。孔内阻力越大，钻杆的弹性变形越大，储存的弹性能也越大。

当钻杆所传递的扭矩不能克服孔壁给予的回转阻力时，钻杆是不能带动钻头一起回转的。这时钻机的回转并没有使钻头在孔底回转，而仅仅是使钻杆继续变形，储存弹性能量，增加钻杆的刚性。只有钻杆的刚性达到能够传递大于孔内回转阻力的扭矩时，才使整个钻进体系回转起来。钻杆、岩心管、钻头回转起来以后，由于回转体系与孔壁、工作面的摩擦由静摩擦转变成动摩擦，摩擦系数突然降下来，使孔内阻力也一下子降下来，这时整个钻进体系所储存的弹性能就立即爆发出来，使整个钻进体系以高于钻机主轴转速的速度回转。由于钻杆体系

的超速回转，钻杆变形变小，弹性能储备变小，钻杆刚性变小，传递扭矩能力也变小。一旦孔内阻力超过钻杆所能传递的扭矩，钻杆、岩心管、钻头就会又停止回转，只有等到钻杆再储备一定的弹性能，使钻杆的刚性提高到能够传递大于孔内回转阻力的扭矩时，整个钻进体系才会再开始转动。所以钻杆、岩心管、钻头在孔内不是匀速转动的，而是跳动回转的。孔内阻力越大，钻杆本身柔性越大，这种跳动回转引起的振动也越严重。这种横向的振动也引起钻杆（在钻孔内类似弹簧）纵向的振动。这种振动是一种灾难性的，不仅钻机受不了，即使在钻机旁边工作的人也感到难以忍受。

使用润滑钻井液以后，孔内阻力大幅度降低，这种强烈振动自然而然地消除了，整个钻进体变得非常平稳。同时扭卸钻杆也变得容易了。用清水钻进时，由于孔内阻力大，钻杆接手扭得很紧，提钻时扭卸钻杆非常困难。可是在使用润滑钻井液后，扭卸钻杆就变得很容易了。

四、延长了钻头寿命

我国开始推广人造孕镶金刚石钻头时，如地质、冶金、煤炭、石油等很多系统，都在试验人造孕镶金刚石钻头。可是没有一个队成功。一个钻头往往只能钻进几米钻孔，最多也不超过10米钻孔。这样，每米钻孔的钻头成本非常高，无法推广人造孕镶金刚石钻头。只有在1973年桂林地质研究所与中南冶金勘探公司试验了润滑钻井液—皂化溶解油乳化液以后，才别开生面，使钻机的转速由原来的300~500转/分提高到1000转/分以上。钻机不再产生强烈振动，钻头寿命由原来的几米提高到几十米，个别钻头寿命超过了百米。由于这次试验的成功，才使人造金刚石钻头得以全面推广。

五、提高了钻进效率

转速是影响人造金刚石钻进效率的重要因素。在一定条件下。转速越快，钻进效率越高（见图1-3）。

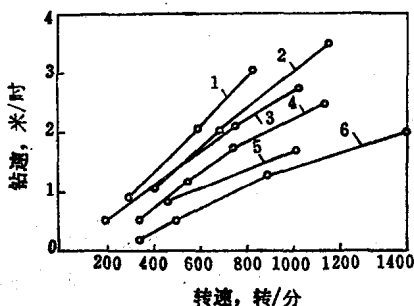


图1-3 转速与钻进效率的关系

1 ——角闪片麻岩；2 ——混合岩化片麻岩；3 ——均质混合岩；4 闪长岩；5 ——花岗岩；6 ——石英岩。

前已述及，用清水钻进，在孔深100米左右就无法开起高转速，更不用说在深孔中钻进了。只有用润滑钻井液才能使钻机高速回转，提高钻头的钻进效率。事实上，还不仅如此，根据最近的研究证明，润滑钻井液本身还对金刚石钻头起到保护作用，从而提高了钻头的钻进效率与钻头寿命。这将在以后专门章节讨论。

随着金刚石钻头的发展，聚晶表镶金刚石钻头的使用也越来越多了，因此润滑钻井液也已广泛用于聚晶金刚石钻头钻进中。

第二节 润滑钻井液分类

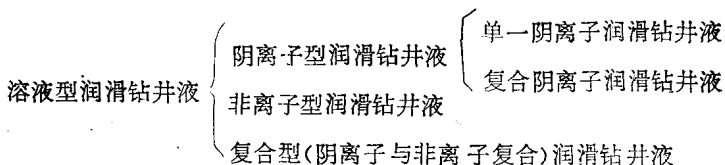
由于人造金刚石钻头（单晶与聚晶金刚石）的普遍推广使用，润滑钻井液的品种也越来越多。根据润滑钻井液性质来分，大致可分为四大类：溶液型；乳化液型；聚合物型；泥浆型。

一、溶液型润滑钻井液

溶液型润滑钻井液是一些表面活性剂的溶液，它不含有基

础油。这些表面活性剂本身就对钻杆与孔壁的摩擦有润滑作用。目前我国广泛使用溶液型润滑钻井液。

如果进一步分类，又可分为离子型、非离子型、复合型，详见下表：



离子型润滑钻井液中，有的是单一的表面活性剂溶液，如松香酸钠溶液，十二烷基苯磺酸钠溶液等，也有的钻井液是两种以上阴离子表面活性剂的混合溶液，即复合阴离子型润滑钻井液。

非离子型润滑钻井液的品种比较少。并且由于比较贵，所以很少使用。斯盘-20就是一种可以润滑的非离子表面活性剂。它的溶液是一种很好的润滑钻井液，但由于价格贵，而很少使用。

复合型润滑钻井液是指离子型与非离子型表面活性剂的混合溶液。而离子型表面活性剂大都用阴离子表面活性剂。因为一些阴离子表面活性剂对钻杆与孔壁的摩擦具有好的润滑性，且便宜，所以都用阴离子与非离子表面活性剂复合配制润滑钻井液。

二、乳化型润滑钻井液

乳化型润滑钻井液，都属于水包油型乳化液。在国内外使用得很广泛。按照乳化剂来分，可分为离子型（主要是阴离子表面活性剂）、非离子型及复合型（非离子与阴离子表面活性剂复合）。三种乳化液中，阴离子乳化润滑钻井液使用得最为广泛，复合型乳化润滑钻井液其次。单独用非离子表面活性剂作乳化剂

的不太多。

按基础油来分，乳化润滑钻井液又可分为以矿物油为主及以动植物油为主的乳化润滑钻井液。参看下表：

乳化型润滑钻井液	离子型乳化润滑钻井液——以阴离子表面活性剂为乳化剂，以矿物油为基础油。
	非离子型乳化润滑钻井液——以非离子表面活性剂为乳化剂，以脂肪酸或脂肪酸与矿物油的混合物为基础油。
	复合型乳化润滑钻井液——以阴离子与非离子表面活性剂为乳化剂，以矿物油为基础油。

以上溶液型与乳化型两种润滑钻井液，在我国各个地质勘探队使用极其广泛。

三、聚合物型润滑钻井液

聚合物型润滑钻井液就是目前通常称作无固相的润滑钻井液。“无固相”钻井液是由泥浆术语发展而来的。在低固相泥浆得到普遍推广应用后，人们又开始研制既有护壁作用，又不含粘土的钻井液。这种钻井液被称作无固相钻井液。它的主要成分是高分子有机聚合物。在这种无固相钻井液中添加润滑成分，使其既有护壁作用又有润滑使用。所以称它为无固相润滑钻井液。但是在上面介绍的溶液型、乳化型润滑钻井液也是不含有固相的。为了区别这种无固相润滑钻井液，这里改称它为聚合物型润滑钻井液。这个名称不一定合适，在没有更恰当名称之前暂时使用它。

聚合物型润滑钻井液，现在已使用得很广泛，例如聚丙烯酰胺润滑钻井液，聚糖润滑钻井液，Na-羧甲基纤维素润滑钻井液。还有把两种聚合物混合在一起使用的聚合物型润滑钻井液，都取得很好的效果。