



# 人造金刚石钻进中 冲洗液的润滑和吸附机理

中南矿冶学院探工教研室 鲁凡 葛仁雄

目前, 在人造金刚石钻进中, 广泛使用皂化溶解油乳化液作为钻孔冲洗液。在水质和岩性适宜的情况下, 使用皂化油可取得良好的效果。但由于皂化油原用于金属切削的冷却和润滑, 所以它的性能和成本都与钻探的要求不相适应。尤其是某些地层或水质不好时, 会产生破乳现象, 不仅消耗大量皂化油, 还影响正常钻进。随着人造金刚石钻进的推广, 研究适用于各种地层的冲洗液, 减少消耗, 降低成本, 是摆在我们钻探工作者面前急待解决的任务。本文准备讨论以下几个有关问题。

## 一 乳化液中基础油的润滑作用

乳化液主要由乳化剂(表面活性剂)、基础油、稳定剂和水组成。在皂化油中, 乳化剂(松香酸钠、脂肪酸钠)约占20~30%, 基础油(机油)约占70%。皂化油中, 机油成本约为乳化剂成本的两倍。既然皂化油里含有这么多的基础油, 那么, 这些油对乳化液的润滑性起什么作用, 是应当搞清楚的。

1. 乳化剂对乳化液润滑性的影响 目前人造金刚石钻进使用的乳化剂主要有阴离子型和非离子型的。由于分子结构不同, 其性质有很大差异。室内测定了几种乳化液对岩石与钻杆摩擦的润滑效果(表1)。

表1

	乳 化 液							
	阴 离 子 型				非 离 子 型			
	环烷酸钠	十二烷基苯磺酸钠	松香酸钠	油酸钠	OP-10	C-125	蓖麻油聚醚	司盘吐温
基础油	30*机油				30*机油			
浓度	0.1%				0.5%			
相对 $\mu$	5~6	6~7	5~6	5~6	12~13	11~12	11~12	12~13

注: ①为了简单, 用测定装置的直接读数表示 $\mu$ 值。

②我们原报导过C-125润滑性较好, 属测定之误。

由表1看出, 基础油相同的情况下, 阴离子型乳化液浓度仅为0.1%, 相对摩擦系数 $\mu = 5 \sim 7$ , 而非离子型乳化液浓度为0.5%,  $\mu = 10 \sim 13$ 。显然, 前者的润滑性优于后者。

2. 基础油对乳化液润滑性的影响 我们在室内测定了几种乳化液基础油的相对 $\mu$ 值(表2)。同时, 测试了用相同乳化剂和不

同的基础油配制的乳化液, 其润滑性能完全一致(表3)。

表2

基础油类别	30*机油	重柴油	轻柴油	煤油
相对 $\mu$	4	5	5	6

表 3

浓度 $\mu$	浓度		
	0.5%	0.1%	0.05%
乳化液类别			
松香酸钠机油乳化液	4	6	8
松香酸钠柴油乳化液	4	6	8
OP-10机油乳化液	14	18	20
OP-10柴油乳化液	14	18	20

使用润滑性很差的乳化剂（如OP-10）和润滑性很好的基础油配制的乳化液，其润滑性仍然很差，说明乳化液润滑性能完全取决于乳化剂的润滑性，而基础油毫无影响。从油珠与乳化剂分子的结合状态（图1）来

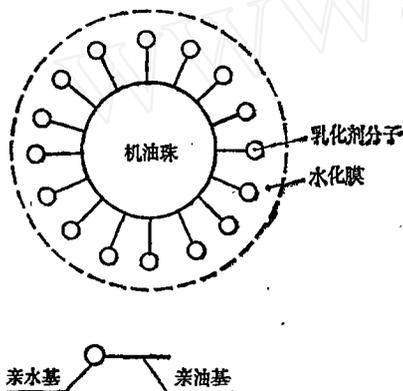


图 1  
乳化液中油珠状态示意图

看，乳化液中的油珠是被乳化剂分子所包围的。乳化剂分子亲油基与油珠相吸附，亲水基朝外与水分子相吸附。在乳化剂与钻杆、孔壁吸附不强时，基础油润滑性能再好，也不起作用。

3. 乳化剂溶液与乳化液润滑性的比较  
既然改变基础油对乳化液润滑性没有影响，那么不加基础油的乳化剂溶液的润滑性如何呢？室内测试的结果（表4）表明，不加基础油的乳化剂溶液与用它配成的乳化液（同样浓度）具有同样的润滑效果。

4. 乳化剂（润滑剂）溶液的现场试验  
分别与湖南302队、305队和宁乡化工厂协

表 4

皂化油乳化液	浓度	0.4%	0.1%	0.05%	0.01%
	$\mu$	6	7	7	16
皂化油乳化剂溶液	浓度	0.1%	0.025%	0.0125%	0.0025%
	$\mu$	6	7	7	16
十二烷基苯磺酸钠乳化液	浓度	0.4%	0.1%	0.05%	
	$\mu$	7	7.5	7.5	
十二烷基苯磺酸钠溶液	浓度	0.1%	0.025%	0.0125%	
	$\mu$	7	7.5	8	
松香酸钠乳化液	浓度	0.4%	0.1%	0.05%	
	$\mu$	5	6	14	
松香酸钠溶液	浓度	0.1%	0.025%	0.0125%	
	$\mu$	6	7	15	
环烷酸钠乳化液	浓度	0.5%		0.1%	
	$\mu$	6		6	
环烷酸钠溶液	浓度	0.125%		0.025%	
	$\mu$	6		6	
OP-10乳化液	浓度	0.5%		0.1%	
	$\mu$	14		18	
OP-10溶液	浓度	0.125%		0.025%	
	$\mu$	14		18	
EL-40乳化液	浓度	0.5%		0.1%	
	$\mu$	15		18	
EL-40溶液	浓度	0.125%		0.025%	
	$\mu$	15		18	

注：因皂化油中乳化剂约占25%，故乳化剂溶液的浓度取为乳化液浓度的25%。

作做了三次试验，均在花岗岩中钻进，使用改装的XU-600型钻机。第一次试验，在孔深400米时用皂化油乳化液，钻机转速只能开到695转/分，而用松香酸钠溶液，转速可开至1160转/分。302队用松香酸钠溶液已钻进400多米钻孔，每米钻孔冲洗液的成本仅相当皂化油的1/5。第二次试验是在78°斜孔350~360米孔段进行，试验结果见表5。松香酸钠溶液的浓度虽然较皂化油低，但孔内阻力是一样的。

上述两次试验都证明松香酸钠溶液具有

很好的润滑性，但未能证明乳化液中基础油对钻具与孔壁不起润滑作用。为此进行了第三次试验，用皂化较完全的含有少量合成脂肪酸的松香酸钠(简称改性松香酸钠)配成浓

表 5

冲洗液类别	浓度	钻头直径 (毫米)	转速 (转/分)	电流 (安)
松香酸钠溶液	0.1%	56.5	1160	65
皂化油乳化液	0.2%	56.5	1160	65~70

注：电流表反映钻机与水泵的总电流值。

度为27%的溶液，即其中含73%的水，而皂化油乳化液含有67%机油和3%的酒精。如果一公斤浓度为27%的乳化剂溶液能顶一公斤皂化油使用，且消耗量相同，即可证明皂化油乳化液中的基础油对钻具与孔壁不起润滑作用。对比试验结果见表6。

表 6

指 标	每米钻孔消耗量	每米钻孔乳化剂
	(公斤/米)	消耗量(公斤/米)
皂化油乳化液	1.2	0.36
改性松香酸钠溶液(27%)	1.1	0.30

注：皂化油消耗量是全队平均值，改性松香酸钠消耗量是试验孔段133.69米的平均值。

从以上结果可以看出，乳化液中的基础油并不起润滑作用，应当用乳化剂(润滑剂)溶液代替乳化液冲洗钻孔。这样可以节约大量基础油又可大幅度地降低成本。

## 二 表面活性剂的润滑性

表面活性剂(包括上述乳化剂)的润滑性与它的分子结构有密切关系。表面活性剂分子有亲水基与憎水基(烃基)两部分。溶于水时，它的亲水基起与固体表面吸附的作用，它的憎水基起隔离摩擦面的作用。在两个固体表面都吸附活性剂分子后，两固体表面的摩擦变为活性剂憎水基之间的摩擦(图2)，也就是烃基之间的摩擦。各种矿物油均由各种烃所组成。在固体表面有一层烃基，也就相当有一层矿物油膜，因此活性剂可以起到润滑作用。

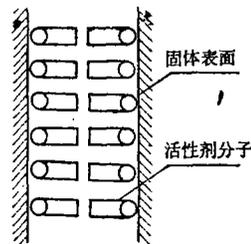


图 2

固体表面吸附有活性剂分子时的摩擦示意图

欲使表面活性剂溶液对钻杆与孔壁具有好的润滑性，活性剂的亲水基必须与铁(钻杆)有强烈而牢固的吸附。据浮选理论，只有其亲水基与铁形成的盐不溶于水的表面活性剂，才能与铁有强烈的吸附。因为溶解度积小的铁盐，铁与酸根的化合键能大，它们之间的亲合力也就强。当这种表面活性剂在水中的离子遇到钻杆后，就会很快地吸附上去，形成润滑薄膜，使钻杆与孔壁得到润滑。

表面活性剂憎水基的结构对润滑性同样有重要的影响。憎水基(烃基)太细太短则润滑性差。如浮选用的丁基黄药，虽较丁基铵黑药有与铁更强的吸附力，但由于丁基黄药的憎水基只有四个碳原子，它的摩擦系数( $\mu = 11$ )就比有八个碳原子的丁基铵黑药( $\mu = 8 \sim 9$ )要大。有的文献认为憎水基的碳原子数在 $C_{16} \sim C_{22}$ 范围内润滑性较好。

这个理论对于判断表面活性剂的润滑性有重要意义，也可使以下问题得到解释。

1. 脂肪酸盐 阴离子表面活性剂可分为四种类型：脂肪酸盐( $RCOONa$ )、磺酸盐( $RSO_3Na$ )、硫酸酯盐( $RSO_4Na$ )和磷酸酯盐( $RPO_4Na$ )。脂肪酸盐活性剂是用得最多的一种，特点是亲水基均为羧基( $COO$ )，例如油酸钠、环烷酸钠、松香酸钠、脂肪酸钠等其亲水基都是羧基。由于羧基与铁形成的盐 $Fe(COO)_2$ 是不溶于水的(溶解度积为 $2.1 \times 10^{-7}$ )，因此 $RCOO^{-1}$ 与铁有很强的亲合力。所以脂肪酸钠溶于水后形成的 $RCOO^{-1}$ 离子很易与钻杆吸附形成润滑薄膜。而且它们的烃基碳原子数都在 $C_{17} \sim C_{19}$ 范围内，因此有很好的润滑性。又如水解聚丙烯酰胺，既有 $-COONa$ ，又

有羟基,测定结果证实它有一定润滑性( $\mu = 7 \sim 8$ )。由此可知,凡是带有 $-\text{COONa}$ 的活性剂都应对钻杆与孔壁的摩擦有一定的润滑性。根据这个认识找到糠油脚与柴油碱渣,前者是油脂化工厂的下脚料,含有脂肪酸钠,后者是炼油厂的废液,含有约10%的环烷酸钠。经室内测定,它们的润滑性与皂化油乳化液不相上下。不过柴油碱渣不能直接用,因pH值太高,应加盐酸使 $\text{pH} = 7 \sim 8$ 再冲淡来用。

2. 磺酸盐 洗衣粉的主要成分为十二烷基苯磺酸钠,其磺酸根 $\text{SO}_3^{2-}$ 与铁形成的盐是不溶于水的,与铁有强的吸附性,而且它的憎水基碳原子数为 $\text{C}_{18}$ ,所以有较好的润滑性(实测 $\mu = 7$ )。但为什么冲洗液中加入洗衣粉后润滑性并不好?这是由于洗衣粉中含有6~8%水玻璃、8~30%三聚磷酸钠和1~2%CMC。这些成分都与铁有很强的吸附性,它们与钻杆的吸附影响了十二烷基苯磺酸钠与钻杆的吸附,因此影响了润滑性。

3. 硫酸酯盐 硫酸酯盐也是用得较多的

一种表面活性剂,但它的润滑性并不好,因 $\text{SO}_4^{2-}$ 与铁形成的盐 $\text{FeSO}_4$ 是溶于水的,水中的 $\text{RSO}_4^{-1}$ 与铁钻杆的吸附力小,不能形成牢固的润滑薄膜。在室内测定过十二烷基硫酸钠和十六烷基硫酸钠,润滑性都不好。因此我们认为硫酸酯盐活性剂不适宜用作金刚石钻探润滑冲洗液。但太古油除外,因它虽含有硫酸盐( $-\text{SO}_4\text{Na}$ ),但也含有羧酸盐( $-\text{COONa}$ ),所以有很好的润滑性。

4. 磷酸酯盐 因为磷酸根 $\text{PO}_4$ 与铁的盐 $\text{FePO}_4$ 是不溶于水的,溶解度积为 $1.3 \times 10^{-22}$ ,它与铁应有强的吸附性。

5. 非离子型表面活性剂 非离子型表面活性剂(聚乙二醇型)的亲水基都是 $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O})_n$ ,它不能与铁形成不溶于水的盐,不可能与铁有强烈的吸附,因此不能在钻杆上形成牢固的润滑薄膜。

通过以上分析,我们认为,凡是含有羟基及亲水基 $-\text{COO}^{-1}$ 、 $-\text{SO}_3^{-}$ 、 $-\text{PO}_4^{-}$ 的活性剂如糠油脚、磺化脚、柴油碱渣等都可用来作润滑冲洗液原料。

## 论“连环定向测斜法”原理

章 兼 植

连环定向测斜法(以下简称环测法)是目前在有磁性干扰的钻孔中,测定钻孔方位角的常用方法。特别是由于金刚石钻探技术的推广应用,孔径较小,小口径陀螺测斜仪等又供不应求,因而很多单位都在研制环测法用的口径测斜仪。但对这种测斜方法本身是否合理的问题,研究甚少。

我们必须重视方法本身的研究。因为,假如方法本身在原理上是错误的,那么,仪器做得再好也是无用的。为使我国钢铁工业来一个大跃进,有一些埋藏较深的富铁矿急需我们去探明开发。在这种有磁性干扰的矿区,钻进深孔,甚至要打定向孔,对于钻孔弯曲情况的测量是十分重要的。因此我们必

须加强对测斜方法的研究,并在此基础上研制出相应的配套仪器。

本文想从原理上对环测法作些分析。

为了便于分析,先从环测法的计算公式谈起。有关环测法的计算公式甚多,但归结起来,这些公式均是在上、下两测点间钻孔段只发生了“一次弯曲”的前提下推导出来的。所谓“一次弯曲”,是指在两测点间,钻孔段只发生了一次方位变化和最多是一次倾角的变化,如图1所示。在这一条件下,对各计算公式进行评价,则公式

$$\text{ctg} \frac{\Delta\alpha}{2} = \frac{\cos \frac{1}{2}(\theta_1 + \theta_2)}{\cos \frac{1}{2}(\theta_1 - \theta_2)} \text{ctg} \frac{\Delta\phi}{2}$$

是比较正确的(见《地质与勘探》1974年第