

低温电镀孕镶金刚石石油取心钻头研制与应用

李大佛, 李天明, 陈洪俊

(中国地质大学长江钻头公司, 湖北武汉 430074)

摘要: 该钻头用于坚硬地层取心. 河南油田以往常用圆柱聚晶、三角聚晶钻头以及烧结孕镶金刚石钻头, 取心效率低、钻速慢、成本高. 近两年采用低温电镀孕镶金刚石钻头取心后, 平均单筒进尺由原来的 4.20 m/筒提高到 7.62 m/筒, 平均取心机械钻速由原来的 0.21 m/h 提高到的 0.84 m/h. 该钻头生产工艺完全改变原来高温(1 000 ℃以上)烧结为低温(室温)电镀工艺, 极大地避免了金刚石热损伤, 采用高强度大颗粒的金刚石, 提高了取心机械钻速.

关键词: 低温; 电镀; 石油钻头.

中图分类号: P634.4⁺3

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2002)01-0120-07

作者简介: 李大佛(1937—), 男, 教授, 1966年毕业于华中理工大学机械系, 长期从事机械钻探与电镀技术的教学、科技及产品开发工作. E-mail: dafoli@elong.com

低温电镀孕镶金刚石地质钻头在我国国土资源部门早已大面积推广应用, 实践证明, 该类钻头适应地层宽、时效高、寿命长、成本低. 但是在油田大口径、大面积地推广使用, 还是最近两年的事. 此类钻头主要用于河南南阳油田张店矿区和安棚矿区坚硬地层取心, 通过近 200 只 8.5" 的电镀孕镶金刚石石油取心钻头的使用, 均获得了十分理想的经济指标, 和以往常用的圆柱聚晶、三角聚晶钻头以及烧结孕镶金刚石取心钻头相比: 平均单筒取心进尺由原来的 4.20 m/筒提高到 7.62 m/筒, 平均取心机械钻速由原来的 0.21 m/h 提高到 0.84 m/h, 仅据 1999 年在南阳油田 14 口井的统计, 节约钻井成本 327.2 万元, 而且大大减轻钻井工人的劳动强度. 现就钻头研制与应用效果论述如下.

1 钻头制造原理

低温电镀孕镶金刚石石油取心钻头的制造原理, 即利用电镀液中的金属离子, 在电场力的作用下, 移向阴极(悬挂钻头钢体的电极), 还原沉积为金属, 包裹金刚石及钢体而形成孕镶金刚石石油取心钻头.

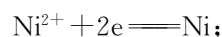
在电镀孕镶金刚石钻头的胎体金属或沉积镀层中, 目前笔者选用以镍为基体的成分, 也就是电镀孕镶金刚石钻头采用镀镍这样一个方法, 是因为镍具有良好的岩石钻探中需要的机械性能. 这里说的“低温”是指对浸渍法制造石油钻头的温度相对而言. 低温电镀孕镶金刚石石油钻头在一年中大部分时间里是室温, 只是在寒冷的季节适当地加热或酷暑的夏天适当地降温. 这里说的“电镀”(俗称)也不确切, 应当为电铸, 因为一般电镀的镀层很薄, 而笔者研制的孕镶金刚石石油钻头镀层(或工作层)厚度一般都在 5 mm 以上甚至高达 10 mm, 而且钻头的内径、外径尺寸是靠模具控制的, 所以它已经相当于铸造了.

1.1 镍离子的沉积过程

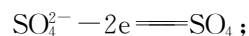
镍离子如何在阴极沉积, 也就是金属镍如何镀在孕镶钻头上, 即镍的沉积过程. 镀镍溶液的主要成分是硫酸镍 NiSO_4 ——主盐. 硫酸镍由于电离作用, 在溶液中分解, 生成金属镍离子和硫酸根离子:



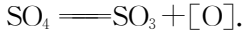
电解时带正电的镍离子(阳离子)在电场力的作用下移向阴极, 在那里取得 2 个电子后, 还原沉积为金属的中性原子, 继而以金属状态沉积在阴极上:



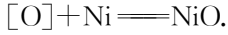
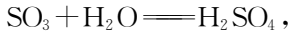
而带负电的硫酸根离子(阴离子)在电解时移向阳极, 在那里放出 2 个电子后, 首先生成硫酸根分子:



随后分解为硫酐(三氧化硫)和氧原子:



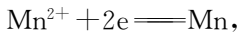
硫酐遇水便生成硫酸,而氧则在阳极上将镍氧化为氧化镍:



生成的氧化镍与硫酸又互相作用生成硫酸镍:



这就是说,在电镀过程中,硫酸镍离解后的 Ni^{2+} 在阴极上沉积后,剩下的硫酸根离子 SO_4^{2-} 通过上述一系列电化学反应过程,又能生成新的硫酸镍,以补充金属镍离子沉积后硫酸镍的不足,遂使电解液中硫酸镍成分的含量不变,以维持电解沉积过程正常进行下去.在这里起变化的是阴极上(即孕镶钻头)沉积的金属镍随着电镀时间的增长而增多;而阳极(即镍板)上的镍随着电镀时间的增长而减少.为了增加镀层或者胎体金属的强度和硬度,笔者在镀镍电解液中还加入了一定数量的硫酸锰,同硫酸镍一样,硫酸锰也离解成带正电的锰离子和带负电的硫酸根离子,锰离子的沉积过程跟镍离子的沉积过程一样:



锰离子获得 2 个电子后在阴极上还原沉积为金属锰,剩下的硫酸根离子与上述反应一样,和阳极镍板起作用生成新的硫酸镍(因为阳极只挂有金属镍板).

由此可以看出,在电镀孕镶金刚石钻头的过程中,即在阴极沉积镍锰合金的过程中,电镀液的成分是改变的,而且随着电镀时间的延长,其溶液成分比例的改变也越大,电镀液中硫酸镍的含量会越来越多(硫酸锰的硫酸根转变为硫酸镍了),而硫酸锰的含量越来越少(锰离子沉积后得不到阳极金属的补充).这也就是为什么电镀一批钻头后,溶液成分一定要经过化验,然后根据化验结果调整溶液成分,以满足笔者选定的溶液配方要求.

1.2 影响电镀的因素分析

金属在阴极的沉积过程,可以看作是一个结晶过程,而镀层的晶体结构又与许多因素有关:如电镀时的电流密度、温度、酸度、溶液成分、溶液中是否添有其他有机物等.电镀时,通常希望胎体金属的结构晶粒细小、组织致密、内部无孔、外表光滑.对于电镀孕镶金刚石石油取心钻头来说,则要求镀层金属强度高、脆性小、耐磨性好,经得起钻进中不可避免的一些冲击碰撞,即具有良好的韧性.

影响电镀质量的一个重要参数是电流密度,电流密度对于沉积金属的结构有较大的影响.电流密度高时,紧靠阴极的电解液中的金属离子的沉积加速,阴极附近的金属离子浓度则减少.由于阴极附近缺少金属离子,致使金属新的沉积发生困难,因而晶粒长大受到抑制,促使形成细小晶粒结构.但是细小晶粒结构并不能使沉积表面光滑,因为高的电流密度将使尖端放电效应加剧,所以尽管沉积层结构的晶粒细小,但沉积层的表面不平,形成节瘤.若过分地增高电流密度还会由于氢离子还原反应的加速而使沉积层中的氢含量增多,导致镀层或者胎体金属发脆(氢脆)和硬度过高.

另一个重要因素是电解液的温度,电解液的温度升高会增大离子的运动速度,同时也使一部分未离解的盐分子由于温度升高而逐渐分解为离子,因而加热的溶液中离子数量便增多,这样就提高了溶液的导电性(其导电能力的大小取决于溶液中离子数量的多少和离子运动速度的大小),就有可能增大电流密度.同时升高溶液温度,往往由于改变了氢和金属的析出电位,致使镀层中的氢含量减少,所以提高溶液温度,能够改善镀层机械性能.但是,溶液温度提高后,会使超电压下降,促使形成粗大晶粒结构的沉积层,这种坏影响可以通过增大电流密度来弥补.

电镀中溶液的酸度对镀层质量的影响也是较大的.溶液的酸度用 pH 值表示.在镀镍溶液中,一般常用的酸度为 $\text{pH}=4.5\sim 5.5$.笔者在电镀钻头中,溶液酸度控制在 $\text{pH}=4\sim 5$ 范围内,由于镍在电位序中其电位比氢负,镍在酸度很高的溶液中很难沉积,所以酸多时阴极上主要析出氢,金属沉积的电流效率很低.另外酸度高时阳极溶解得比较快,造成 pH 值高,因而必须要经常校正 pH 值.同时溶液酸度高时将使镀层硬度有所降低,这个现象与镀层结构和酸度低的溶液中存在氢氧化镍有关.氢氧化镍能促使生成细小晶粒的较硬的镀镍层,而酸度高的溶液要削弱这种现象.但是,酸度较高的溶液也有不少优点,它能减少镀层麻点的生成,可以大大提高电流密度,加速镀镍过程,同样能获得质量优良的镍镀层.

2 钻头制造工艺

电镀孕镶金刚石石油取心钻头尺寸、形状的正确设计是钻头质量的一个重要基础,而制造工艺程

序的严格控制则是其钻头质量的一个重要保证。

2.1 钻头钢体与模具

2.1.1 光洁度 实践证明,钻头钢体被镀表面太光滑不仅经济上不合算,同时工艺上也不合理。因为电镀钻头一个重要的质量指标是结合强度,被镀表面适当地粗糙一点,有助于镀层与钢体的牢固结合。这一方面增大了结合面积,同时由于零件表面微观甚至宏观的不平,造成了与镀层的互相嵌合,这对于抵抗钻头因扭转力矩而使镀层沿钢体脱落是有帮助的。因此,钢体被镀表面经车床加工就行了,而且还不需要精车。当然粗糙的表面对于除油和氧化膜就要求更仔细一些,因为沟谷的污物除去较困难。同时还应注意的是其沟谷处金属离子沉积困难,因而开镀时须增加其极化作用,提高深镀能力,以求在沟谷处金属镀层真正结合而不是假结合或不结合。

2.1.2 水口槽 钢体上的水口槽应先加工出来,这很方便。也可以电镀后再加工水口槽,但这就很麻烦。水口槽的边缘应加工成园弧形或者倒角。施镀时应使每组镀层或每个扇形块钢体的 5 个面上生长镀层而不是在 3 个面上生长。这样在电镀中不仅避免了尖端放电,增加镀层与钢体结合强度,而且增强镀层在孔底抵抗冲击的能力。水口槽的数目,在 8.5" 孕镶石油取心钻头上安排 12 个,效果较好。

孕镶金刚石钻头在钻进中的磨损,由于冷却不良使金刚石被烧或微烧,致使金刚石损伤炭化而被消耗,另外就是胎体磨损后而使金刚石出露太多而脱落。因此,孕镶金刚石钻头的冷却,特别是底唇面的冷却,随着钻头使用中金刚石层的消耗,即端面水口深度的减少而应不断地加工水口使其沿端面的水口深度保持一定。沿内外径圆周方向的水口槽最好加工成沿冷却液流动方向的斜槽。

2.1.3 倒角与保径 钢体被镀表面沿内、外直径处的倒角,以 R5 mm 为宜。倒角太小甚至不留倒角或者倒角太大甚至把底部加成园弧形都不好。前者影响钻头寿命,当钻头底唇面和内、外直径处的金刚石还能继续钻进时,由于钢体倒角太小甚至不留倒角而使钢体首先出露而不能钻进。后者虽然不会出现原来倒角处的钢体首先出露,却对内、外径的保径效果不好,因为它减少了内、外直径保径金刚石层的高度,因而也使钻头寿命受到影响。

对于电镀孕镶金刚石石油钻头的内、外保径问题,笔者通过单晶和聚晶联合保径的措施来解决,效果很好。需要注意的是保径厚度尺寸的设计十分重

要。保径厚度尺寸的大小以能维持钻头使用中底唇金刚石层全部耗尽为目的,最理想的匹配应是底唇金刚石和内外径上的金刚石同时消耗殆尽,这样就充分利用了金刚石。保径层尺寸大小是通过模具来控制的。

2.1.4 模具 由于笔者采用的是底唇面、内侧面、外侧面 3 个面同时生长一次成型的工艺,因此对模具要求严格。可以说钻头内外径尺寸精度完全取决于模具加工精度。模具的作用有两个:一是控制钻头内外出刃尺寸,另外就是保持住金刚石。模具的材料可以用有机玻璃、塑料,或者其他绝缘材料。

模具分内模和外模,内模的外径控制钻头的内径(如 8.5" 石油取心钻头外径为 $\varphi 215.9$ mm)。

2.2 钻头钢体镀前处理

电镀孕镶金刚石石油取心钻头,由于其镀层是在孔底比较恶劣的环境工作,镀层与钻头基体的结合是否牢固就成为衡量孕镶金刚石钻头好坏的一个重要质量指标。因此,钢体镀前处理应该说是一个非常重要的环节,它直接关系到镀层与钻头钢体的结合以及镀层质量。

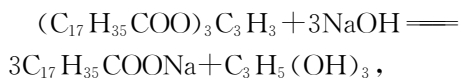
钻头钢体经机械加工后,不可避免地存在有油污,这主要是机油和柴油之类的矿物油。另外,由于人手上的分泌物多含有油脂,所以用手触摸过的钢体也易被动物油、植物油沾污。可见,无论是何种油污,都必须在电镀前把它彻底清除干净。

2.2.1 有机溶剂除油 用有机溶剂能较好地溶解矿物油和动、植物油。这种方法的除油特点是除油速度比较快,而且一般对金属无腐蚀。所谓有机溶剂除油就是用汽油清洗,当然用煤油或者丙酮清洗也行,不过用汽油清洗比较简便。但是,要彻底清除零件表面的油污,光靠汽油清洗是不够的。因为当附着在零件表面上的有机溶剂挥发以后,其中所带的油污就被遗留在金属表面了,所以经有机溶剂除油后,还必须用其他方法除油。

2.2.2 化学除油 这种方法除油的实质是借皂化和乳化的作用来进行的。前者可以除去动、植物油(皂化油);后者可以除去矿物油(非皂化油)。化学除油的溶液成分一般选用如下:碳酸钠(Na_2CO_3), 50~60 g/L;硅酸钠(Na_2SiO_3), 4~6 g/L;氢氧化钠(NaOH), 6~8 g/L;温度为 60~100 °C;时间为 1 h 左右。

油污中的动、植物油的除去是靠皂化反应。所谓皂化反应就是油脂与化学除油溶液中的碱起化学反

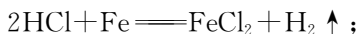
应生成肥皂的过程。一般皂化油中的主要成分是硬脂,它和碱的反应如下:



硬脂+苛性钠=硬脂酸钠+甘油。

此反应结果生存的肥皂(硬脂酸钠)和甘油都是易溶于水的,而形成一般胶体溶液的物质脱离钻头钢体表面而被清除。化学除油后,一定要先用热水后用冷水分别仔细冲洗,但是,由于化学除油所使用的碱溶液的乳化作用有限,对于矿物油的除去还是不彻底的。因此,对于镀层结合力要求高的孕镶金刚石钻头,仅采用碱性化学除油是不够的。生产中,往往因化学除油比较麻烦,时间较长,温度较高,除油效果也不彻底,这道除油工序经常被省略。

2.2.3 盐酸腐蚀 盐酸腐蚀的目的是除锈。钢体被镀表面经机械加工后,往往要停留一段时间才能入槽电镀,因此被镀表面会氧化(生锈)。盐酸腐蚀的就是使氧化的被镀表面溶解,锈迹自然也就脱落,反应式如下:



因此,腐蚀的时间一般不超过了 30 s。腐蚀的时间长了,一方面被镀表面的金属溶解得较多,同时被镀表面也将残留较多的碳,影响结合强度。盐酸腐蚀后,一定要先用热水后用冷水仔细冲洗。

2.2.4 绝缘不镀部分 钢体经过腐蚀后,要尽快进行绝缘工作,即将钢体不镀部分全部绝缘。绝缘的方法不少,一般采用赛璐珞涂抹 3~5 次即可;也可采用塑料布包扎。由于电镀孕镶金刚石石油钻头时间较长,绝缘不牢容易冲穿而生长节瘤,不仅影响钻头被镀表面的电流密度,降低镀层高度,而且清除这些节瘤比较麻烦。通过实践,采用塑料带绝缘更为方便可靠。而且用此工艺后可将盐酸腐蚀工序放在绝缘工作之后进行。

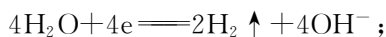
2.2.5 电化学除油 电化学除油的目的是进一步清除油污,而且主要是清除不能皂化的矿物油。电化学除油的机理可简单解释为利用碱溶液使钻头被镀表面的油膜乳化。所谓乳化就是钻头被镀表面的油膜可以变成很多很小的油珠,然后通以直流电,使钻头作为阴极或阳极,由于电流的作用而使电极析出大量的氢气或者氧气泡,对于乳化的油膜产生机械剥离或撕裂使其脱离钻头被镀表面。用此进行除油的方法称为电化学除油。电化学除油溶液成分与规范:碳酸钠(Na_2CO_3), 80 g/L;磷酸钠(Na_2PO_4), 32

g/L;硅酸钠(Na_2SiO_3), 6 g/L;氢氧化钠(NaOH), 32 g/L;温度为 55 ℃;电流密度为 20 A/dm²;先阴极除油(钻头作为阴极)3 min;后阳极除油(钻头作为阳极)1 min。电化学除油后,一定要先用热水后用冷水仔细冲洗。

为什么电化学除油要把钻头分别作为阴极和阳极呢?因为这个过程的实质是电解水:



当钻头钢体作为阴极时,其表面进行的是还原过程并析出氢气:



当钻头钢体作为阳极时,其表面进行的是氧化过程并析出氧气:



从上面两个反应可以看出,当电流密度相同时,在阴极上(钻头钢体作为阴极时)析出氢气泡的数量为阳极上(镍板作为阳极时)的氧气泡数量的两倍,所以它的乳化除油效率高。同时,由于氢离子 H⁺ 的放电,阴极表面液层的 pH 值升高,这对于乳化或者除油也有利,这 2 个优点都是采用阳极除油所不具备的。但是采用阴极除油时,由于氢气泡在钢体附近析出,很难避免氢气不扩散到钻头钢体被镀金属内部,引起金属氢脆;另一缺点是有些金属杂质(如铜、铁等金属离子)可能在作为阴极的钢体表面上沉积出来。为了克服这个缺点,必须阴极除油后还要采取阳极除油。这对于要求镀层结合力牢固的金刚石石油取心钻头而言,显得格外重要。

电化学除油时的另一个电极可采用铁板、镀镍铁板、不锈钢板或铝板,它只起电极导电的作用。

2.2.6 阳极处理 这是钻头钢体镀前处理的最后一道工序。它是利用阳极析出的气泡机械剥离被阳极溶解的钻头钢体被镀表面极少的金属和氧化膜,达到彻底清除被镀表面的氧化薄膜,同时也使金属表面呈现出新鲜的金属结晶组织,使其表面活化,从而促使镀层与钢体金属牢固地结合。

阳极处理时,一般采用铝板作阴极,只起电极作用。用于处理的溶液是体积分数为 40% 的硫酸溶液。处理时间不宜长,2~3 min,电流密度选大一点为好,50~100 A/dm²。

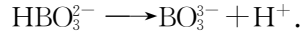
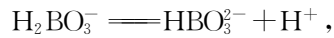
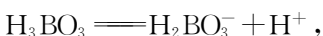
2.3 电镀工艺

2.3.1 溶液成分 溶液成分的选择,应根据对镀层金属提出的要求来定。笔者用来电镀孕镶金刚石的石油钻头,在孔底工作,切削坚硬的岩石,工作环境

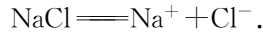
比较恶劣,因此要求镀层或者胎体金属有较好的强度、韧性和耐磨性,并要求胎体具有较好的抵抗冲洗液冲蚀的能力,以适应钻进一定地层的要求。一定的溶液成分控制了一定的镀层金属或胎体的性能,所以一定的胎体对于地层的适应性也不可能是万能的。

为了达到一定的镀层金属或胎体性能的预定要求,溶液成分应该选择得越简单越好。这不仅可以简化溶液成分的化验分析工作,减少调整、净化溶液成分的麻烦,而且对于保证镀层性能,提高钻头质量都是很有益处的。另外,对于电镀孕镶金刚石石油取心钻头,不同于电镀其他装饰商品,孕镶金刚石取心钻头的使用都是在人们不可见的孔底工作,对其光亮装饰方面不必要求,所以溶液成分里,不必添加有机光亮剂(如香豆素和 1,4 丁炔二醇)。当然,镀液里加入香豆素和 1,4 丁炔二醇后,不仅能增加镀层的光亮效果,还能增强镀层的整平作用,因此能提高镀层的硬度。香豆素和 1,4 丁炔二醇在光亮镀镍溶液中,都有发亮和填平的作用,但 1,4 丁炔二醇的发亮作用较强,香豆素的填平作用较强。但是香豆素和 1,4 丁炔二醇容易分解为邻-羟苯丙酸和其他有害杂质,所以当溶液中添加光亮剂后,为了抵消香豆素和 1,4 丁炔二醇分解物的恶劣影响,还必须加入糖精等添加剂。这样一来,溶液中含有的电介质越多,电解沉积的情况就越复杂了。目前对于这些有机添加剂的化验分析还很难进行,因为在电镀中对于添加光亮剂溶液成分的补充、调整与净化处理等工作都比较复杂,而且溶液中添加光亮剂后,还会使镀层氧气含量增加,脆性增加且硬度过高。所以,在电镀孕镶金刚石石油钻头的溶液中,笔者没有采用从光亮剂的溶液中沉积出来的胎体金属,而是采用硬度为 HRC35 至 HRC45 左右的镀层或胎体金属,其具有较好的耐磨性和抗冲击韧性。

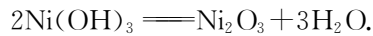
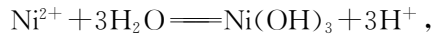
溶液成分中主要有 4 种药品,硫酸镍是沉积胎体合金的主要来源。硫酸镍是溶液中的主盐,它保证镍锰合金中镍的成分占 99% 以上,胎体合金的基体是镍,镍是主要成分。硫酸锰主要是为了增加镀层或胎体金属的强度与硬度。硼酸是溶液中的缓冲剂,它能保持溶液的酸度 pH 值不变。电镀时溶液中的氢离子 H^+ 要放电还原,其数量要减少,则 pH 值要变化,硼酸的作用就是控制 pH 值不变化。因为硼酸在溶液中能够离解出氢离子 H^+ ,而且具有多步离解的性质:



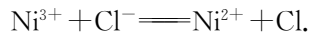
氯化钠在溶液中离解为钠离子 Na^+ 和氯离子 Cl^- :



它有两个作用:一是依靠钠离子 Na^+ 增加溶液的导电性;另外就是依靠氯离子 Cl^- 防止阳极(镍极)钝化。因为电镀中氧的析出会使阳极(镍极)附近的二价镍离子 Ni^{2+} 氧化生成三价的镍离子 $Ni^{2+} - e \rightleftharpoons Ni^{3+}$ 。但是,三价镍离子是不稳定的,它会产生如下反应生成三氧化二镍 Ni_2O_3 :



此时生成的褐色的三氧化二镍便覆盖在阳极镍板表面,使这些表面不能导电,致使钝化,即阳极镍极不能溶解。溶液中的氯离子 Cl^- 可以防止阳极钝化,是因为氯离子能使三价的镍离子还原为两价的镍离子,使它不能生成三氧化二镍,以保持阳极(镍板)一直处于活化状态:



2.3.2 电镀工艺 电镀中,溶液温度和电流密度往往是配合选用的。溶液温度高时,电流密度也相应要增大,因此可以互相抵消不良影响;溶液温度低时,电流密度也相应减小,当然也与溶液 pH 值有关。

溶液酸度、电流密度和温度都选用偏低一些,主要是考虑使镀层组织晶粒细小,氢含量减少,使之具有足够的强度和韧性,同时镀层外观也平整。溶液所选用的温度偏低,可以大大减化甚至省略加热设备,因为这个温度在一年中的大部分时间里是室温。上砂时的电流密度比加厚电流密度小,是考虑金刚石不导电,上砂后金刚石要覆盖一部分被镀面积,所以其真实电流密度并不一定比加厚电流密度小。上砂电流密度要适当小一些,有助于金刚石在镀层中均匀分布,包镶牢固。

按照这种工艺所沉积的镍锰合金,镍质量分数占 99% 以上,锰质量分数占 1% 以下。胎体硬度 HRC45 左右,胎体组织比较致密,晶粒也比较细小。

3 应用效果

3.1 8.5" 电镀孕镶金刚石钻头结构

8.5" 电镀孕镶金刚石石油取心钻头结构和外形如图 1 所示。

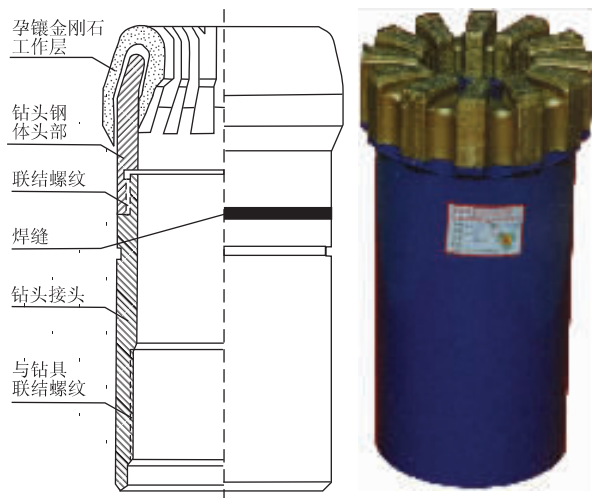


图 1 8.5"电镀孕镶金刚石石油取心钻头结构和外形

Fig. 1 Structure and shape of 8.5" electroplated diamond petroleum bits

3.2 8.5"电镀孕镶金刚石石油取心钻头在南阳油田的应用

该油田取心以前常用的是镶嵌聚晶(圆柱聚晶和三角聚晶)钻头,由于其硬度较小,尖齿易磨平,很难吃入硬地层;另外,由于使用的烧结孕镶金刚石钻头胎体硬度大,金刚石颗粒不易出露,取心速度更慢;而天然金刚石钻头价格昂贵,且在坚硬地层使用极易崩齿,使用寿命和机械钻速都不理想,成本很高。

但是,电镀孕镶金刚石钻头由于其金刚石颗粒硬度很高,电镀的胎体硬度适中且可根据地层调节,采用逐层电镀孕镶金刚石方式加工,其优越的自锐性决定了在硬地层取心具有较高的机械钻速。自 1999 年以来,南阳油田使用该钻头在 S02、S11、S31 等 14 口井进行取心,取得了很好的效果,如表 1 所示。

从表 1 中可以看出,机械钻速大大提高,钻进成本大大降低,平均每口井节约取心费用 23.37 万元。

这里着重介绍电镀孕镶金刚石石油取心钻头在安棚碱井的应用效果和经济对比指标。安棚碱井取心层位并深一般在 1 600~2 500 m(大部分在 2 200~2 500 m),岩性主要为白云质泥岩、泥质白云岩、白云岩,岩性坚硬,研磨性强。在 1999 年施工的 S31、S02、S41、S21、S11 5 口井取心中,开始使用常用的圆柱聚晶金刚石取心钻头,后来使用三角聚晶金刚石取心钻头,效果均很不理想,机械钻速缓慢,平均单筒取心进尺少,且由于钻速太慢,单筒取心工作时间长,导致取心筒悬挂轴承频频损坏,大大降低了取心收获率,对获取准确完整的资料,给岩碱分析

带来了十分不利的影 响,总体上造成了取心钻井成本太高。为了彻底改变这种局面,经过深入研究分析,决定选用武汉地大长江钻头有限公司的电镀孕镶金刚石取心钻头。经现场使用,取得了非常好的效果,在 1999 年施工的 5 口井后续取心中,平均机械钻速由原来的 0.20 m/h 提高到 0.62 m/h,提高了 210%。2000 年,笔者在 S12、S22、S32、S42 4 口井中,通过适当提高钻压、排量,降低泥浆密度等技术改进措施,平均机械钻速又有大幅度提高,由 1999 年的 0.62 m/h 提高到 1.11 m/h,提高了 79%。总体来说,安棚碱井由于正确地选用了电镀孕镶金刚石取心钻头及对钻头加工和钻井技术措施进行了改进,取得了平均机械钻速提高 290%,取心钻井成本节约 192.34 万元的优异成绩。具体使用对比指标见表 2。

根据钻进成本计算公式:

$$C_T = [C_b + C_r(t_r + t_c + t_b)]/H, 32 \text{ 钻机作业费}$$

$$C_r = 776.25 \text{ 元/h} (18\ 630 \text{ 元/d}), C_b \text{ 为钻头使用总价}; t_r \text{ 为纯钻进时间/h}; t_c \text{ 为起下钻时间/h}; t_b \text{ 为辅助时间/h}; H \text{ 为进尺/m。作钻井成本分析如下:}$$

(1)圆柱、三角聚晶和烧结孕镶金刚石取心钻头钻进成本

$$C_{T1} = (46\ 581 + 776.5 \times 300.92) / 34.46 = 8\ 130.30 \text{ 元/m。}$$

(2)前 5 口井电镀孕镶金刚石取心钻头钻进成本

$$C_{T2} = (95\ 725 + 776.5 \times 698.2) / 197.41 = 3\ 230.35 \text{ 元/m。}$$

(3)后 4 口井电镀孕镶金刚石取心钻头钻进成本

$$C_{T3} = (82\ 050 + 776.25 \times 415.44) / 159.78 = 2\ 531.83 \text{ 元/m。}$$

(4)本项目 9 口井电镀孕镶金刚石取心钻头钻进成本

$$C_{T4} = (177\ 775 + 776.25 \times 1113.64) / 357.19 = 2\ 917.88 \text{ 元/m。}$$

(5)使用电镀孕镶金刚石取心钻头,今年与去年相比,取心 159.78 m 节约钻井成本:

$$(3\ 230.35 - 2\ 531.83) \times 159.78 = 111\ 610 \text{ 元。}$$

(6)使用电镀孕镶金刚石取心钻头与使用圆柱、三角聚晶、烧结孕镶金刚石取心钻头相比,取心 357.19 m 节约钻井成本

$$(8\ 130.30 - 2\ 917.88) \times 357.19 = 1\ 861\ 824 \text{ 元。}$$

另外,使用电镀孕镶金刚石取心钻头机械钻速高,平均单筒取心进尺也大大提高,由原来的 4.31

表 1 电镀孕镶取心钻头及其他钻头使用统计

Table 1 Statistical comparison of electroplated diamond petroleum bits with other bits

序号	年份	钻头品种	钻头使用总价/ (元·只 ⁻¹)	取心次 数/次	进尺/m	心长/m	收获率/%	机械钻速/ (m·h ⁻¹)	进尺工作时间/h		
									合计	纯钻进	起下钻和辅助
A	1999	圆柱和三角聚 晶, 烧结孕镶	46 581/5	8	34.46	26.11	75.77	0.20	300.92	171.68	129.24
B	1999	电镀孕镶	95 725/7	24	197.41	183.96	93.19	0.62	698.20	316.41	381.79
C	2000	电镀孕镶	82 050/6	19	159.78	151.94	95.09	1.11	415.44	144.42	271.02

表 2 安棚碱井取心主要技术经济指标表

Table 2 Technical and economic indexes of bits in salt well of Anpeng

使用钻头品种	使用 井数/口	钻头使用 总价/(元·只 ⁻¹)	取心 次数/次	取心 进尺/m	平均机械 钻速/(m·h ⁻¹)	取心进尺工作时间/h		
						合计	纯钻进	起下钻及其他
圆柱、三角聚晶和 烧结孕镶	5	61 111/7	10	41.97	0.21	362.03	202.43	159.60
电镀孕镶金刚石	14	629 050/46	88	670.52	0.84	2 138.40	802.49	1 335.91

m/筒提高到 8.31 m/筒. 据此计算取心 357.19 m 减少取心次数为

$$357.19/4.31 - 357.19/8.31 = 40 \text{ 筒.}$$

碱井取心采取每取一筒就更换悬挂轴承和岩心爪, 最多取四筒心就要整体更换取心筒, 1 套悬挂轴

承和岩心爪材料费 439 元, 1 根取心筒租赁费 4 403 元, 减少取心次数 40 筒可节约取心工具费用:

$$40 \times 439 + 40/4 \times 4 403 = 61 590 \text{ 元.}$$

因此, 安棚碱井 9 口井使用电镀孕镶金刚石取心钻头合计节约钻井成本 192.34 万元.

Development and Application of Low Temperature Electroplated Diamond Petroleum Bits

Li Dafo, Li Tianming, Chen Hongjun

(Changjiang Diamond Bits Co, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: This bit is used for coring in hard rocks. Previously, the bits used for coring in Henan oil-field are column PDC or triangle PDC bits and conventionally heat impregnated diamond bits, which are low in coring efficiency and drilling speed and high in cost. While the average drilling speed has increased from 4.20 m to 7.62 m in one drilling and the average coring rotation has increased from 0.21 m per hour to 0.84 m per hour when the low temperature electroplated diamond bits have been used in recent two years. The manufacturing technique of this kind of diamond bits with the temperature changed from over 1 000 °C in the conventional one to the constant room temperature has greatly prevented the bits from heat damage and enhanced the coring rotation speed with the use of large grained diamonds with high strength.

Key words: low temperature; electroplate; diamond petroleum bits.