

# 孕镶金刚石-针状合金复合式 取心钻头的应用研究

刘晓阳

(核工业二四三大队, 内蒙古赤峰 024006)

**摘要:** 采用普通硬质合金钻头、PDC 钻头或普通孕镶金刚石钻头钻进卵砾石层, 钻头磨损特别快, 使用寿命短, 时效低, 钻探成本高。本文介绍的孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头综合了普通孕镶金刚石钻头与自磨式硬质合金钻头的特点, 胎体具有较高的耐磨性和抗冲击韧性。钻头胎体中孕镶的针状合金除了增韧外, 还起硬点的作用。该钻头与普通硬质合金钻头、PDC 钻头、普通孕镶金刚石钻头相比, 具有较好的钻进性能, 使用寿命长, 在卵砾石层钻进能保持较高的机械钻速和回次进尺长度。

**关键词:** 孕镶金刚石-针状合金; 复合; 取心钻头; 应用研究

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-7428 (2009) S1-0377-05

自 20 世纪八十年代末开始, 我国的铀矿勘查工作主要集中在北方的几大沉积盆地中寻找地浸砂岩型铀矿床, 如吐哈盆地、伊犁盆地、二连盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地等。近年来, 核工业系统在这些盆地投入的钻探工作量逐年增加, 到“十五”末, 年投入钻探工作量近 20 万米。地浸砂岩铀矿钻探的钻孔孔深一般不超过 500m, 钻遇的地层以砂岩、泥岩、砂砾岩、砾岩、卵砾石为主。卵砾石层钻进难度最大, 一直是钻探施工生产中的难题, 钻进该层时, 生产效率低、钻进成本高、孔内事故多。据了解, 前苏联地浸砂岩铀矿钻探也一直存在这一难题, 至今未能很好地解决。

## 1 卵砾石岩层钻进钻头的失效特点

在钻探生产过程中, 经常要在砂卵砾石层中钻进, 组成砂卵砾石层的岩石, 大多数是坚硬的岩浆岩和变质岩。砂卵砾石的堆积有一定的自由度, 在外力作用下, 砂卵砾石非常容易转动。在这种情况下, 如果采用钻粒钻进, 当砂卵砾石层粒径小于钻孔孔径时, 钻粒大部分会沿着砂卵砾石的间隙漏走, 造成井底无钻粒的状态, 钻进效率很低, 单位进尺消耗钻粒很大。如果采用硬质合金钻进, 主要困难是钻头所受的回转阻力极不平衡, 合金承受相

当大的冲击荷载, 钻头寿命极短。另外, 由于钻孔孔壁极不规则, 钻头在扫孔过程中 (有时钻头尚未到达孔底), 合金钻头的内外出刃全部崩掉。如果采用密集式合金钻头, 上述情况有所改善, 但从钻头的磨损情况看, 仍然是以硬性的崩刃与折断破坏为主, 很少有完全正常磨损而失去工作能力的钻头<sup>[1]</sup>。所以, 对于这种地层, 钻粒钻进和硬质合金钻进都不适合。

PDC (Polycrystalline Diamond Compacts) 是由一薄层金刚石 (约 0.5 ~ 1mm 厚) 和较厚的硬质合金衬底复合而成<sup>[2]</sup>。PDC 钻头的切削具是将复合片钎焊到硬质合金支撑体后再钎焊到钻头体上, 或直接将复合片钎焊到预先加工了支撑体的钻头体上。这种结构决定了其抗冲击性能差, 常规 PDC 钻头不适用于钻进软硬互层频繁、砾径不均的卵砾层。

单晶孕镶金刚石钻头在钻进完整硬岩和具有研磨性岩石时, 由于其具有自锐性, 有很多优点。但从破碎岩石的机理看, 因为金刚石粒度细小, 对岩石的单次破碎效率低, 必须依靠高的线速度才能获得一定的钻进效率<sup>[3]</sup>。钻探生产实践表明, 金刚石钻头在钻进砂卵砾石层时比钻进一般普通岩层时的工作环境要恶劣得多, 这是因为钻进砂卵石层会

收稿日期: 2009-08-30

基金项目: 核工业地质局钻探生产中科研“孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头研究”部分内容。

作者简介: 刘晓阳 (1967-), 男; 高级工程师 (研究员级), 地质工程专业, 博士, 主要从事岩心钻探技术和勘探超硬材料的研究工作。

产生大量的粗粒砂卵石岩粉,而这些粗颗粒砂卵石岩粉以及该地层本身含有的石英粒等极其坚硬,它们又不能及时、迅速地通过钻头端部由钻井液排出,于是大量粗颗粒砂卵石岩粉及细粒在钻头端部重复破碎,导致钻头胎体急剧磨损。卵石层一般为松散胶结,钻进时有一定自由度的卵石会产生不规则的相对运动,这种运动会对胎体产生巨大的撞击破坏,导致扇形块断裂、崩落。根据钻进砂卵石层使用后的孕镶金刚石钻头观察分析,发现其失效形式主要有两种:(1)钻头胎体唇部及内外径超常磨损;(2)钻头胎体崩裂、脱落。

## 2 解决方案

根据上述分析,卵石地层钻进时,不利于带刃角类切削具钻头和普通孕镶金刚石钻头的使用。复合式孕镶胎体钻头是一种较为理想的设计。卵石层钻进用钻头需要满足以下三个要求:(1)较好的碎岩性能;(2)较高的耐磨性;(3)较高的抗冲击韧性。我们于2003年成功开发研制出了适用于卵石层钻进的孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头。其基本原理在含有一定浓度金刚石的胎体粉料中有序地排列针状合金,通过热压法烧制。目前在工业上通常使用纤维加固脆性材料的方法,如在混凝土中加钢筋、玻璃钢中加纤维等方法。孕镶复合式胎体采用在基体中有序排列针状合金(有时也可增加人造金刚石聚晶)的方法来提高钻头胎体的耐磨性和抗冲击韧性。

孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头综合了普通孕镶金刚石钻头与自磨硬质合金钻头的特

点,胎体具有较高的耐磨性。复合于胎体中的针状合金除了起增韧作用外,还起硬支点的作用,在钻进中保持胎体与岩石的接触面不变,使胎体正常磨损,始终维持高效克取岩石的能力。与普通合金钻头、PDC钻头、孕镶金刚石钻头相比,具有较好的钻进性能,寿命是其它钻头的若干倍。在卵石层钻进时能保持较高的机械钻速和回次进尺长度,为卵石层钻进工作量较大的地浸砂岩型铀矿勘探、煤田地质勘探、工程地质勘探等提供了有利的碎岩工具。

## 3 钻头结构设计

钻头外径 $\Phi 105\text{mm}$ ,内径 $\Phi 74\text{mm}$ 。钻头总长度 $130\text{mm}$ ,胎体工作层高度 $10\text{mm}$ ,水口宽度 $8\text{mm}$ 。钻头结构示意图见图1,钻头实物照片见图2。

## 4 钻头野外生产试验情况

### 4.1 内蒙古鄂尔多斯盆地东胜地区铀矿床试验情况

#### 4.1.1 试验区概况

该地区90%以上的钻孔在不同孔段有卵石层,最大厚度达 $160\text{m}$ ,平均厚度 $40\text{m}$ 。卵石层结构松散,有少量泥质或砂质充填物,同时卵石与厚度较小的砂岩、泥岩互层,换层频繁。卵石层砾径不均, $10\sim 200\text{mm}$ ,漂石直径 $500\sim 1000\text{mm}$ 。卵石主要岩性以石英岩和花岗岩为主,硬度大、可钻性级别高。

原施工单位在该地区用YG8T308、YG8T105、

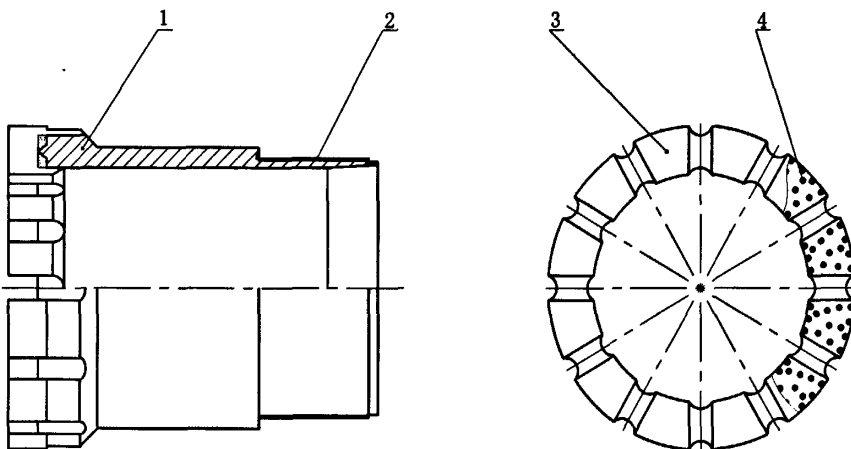


图1  $\Phi 105/74$  孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头结构示意图

1 钻头钢体; 2 连接螺纹; 3 胎体(含一定浓度的金刚石); 4 针状合金

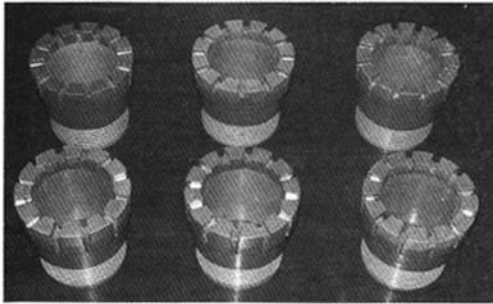


图2  $\Phi 105/74$  孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头照片



图3 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头取出的部分岩心

YG8T107、YG8T110 硬质合金密集镶焊的合金钻头钻进卵砾石层, 平均时效不到 1m, 钻头平均寿命不足 1m, 平均每米钻头成本高达 100 元以上。

4.1.2 设备概况

XY-44 型立轴式液压钻机, 13.5m A 型钻塔, NBB250/6 型泥浆泵,  $\Phi 50\text{mm}$  钻杆。

4.1.3 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头试验情况

我们制作了 8 个孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头在 5 个钻孔中的卵砾石层进行了钻进试验, 试验数据见表 1。图 3 为孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头取出的部分岩心, 图 4 为钻头的磨损情况。



图4 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头的磨损情况

表 1 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头试验情况

钻头编号	钻孔号	回次数	进尺 /m	纯钻时 /h: min	小时效率 /m	平均回次进尺/m
1#	ZK644-582	11	25.00	16: 10	1.55	2.27
2#	ZK644-584	4	11.78	3: 25	3.45	2.95
3#	ZK644-584	13	29.35	17: 05	1.72	2.26
4#	ZK644-584	13	14.90	12: 20	1.21	1.15
5#	ZKA191-51	6	16.10	9: 00	1.79	2.68
6#	ZKA191-51	6	19.25	7: 20	2.63	3.21
7#	ZKA191-79	7	19.80	8: 30	2.33	2.83
8#	ZK199-839	9	22.30	10: 00	2.23	2.48
合计		69	158.48	83: 50	1.89	2.30

试验结果: 8 个孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头在卵砾石层共钻进 158.48m, 平均钻头寿命 19.81m, 最高 29.35m。平均小时效率 1.89m, 平均回次进尺 2.30m。与普通合金钻头相比 (见表

万方数据

2), 平均钻头寿命是合金钻头的近 20 倍, 平均小时效率是合金钻头的 1.9 倍, 平均回进尺是合金钻头的 2.3 倍, 而每米钻头成本不到合金钻头钻进的 25%。

表 2 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头与普通硬质合金钻头钻进效果对比

钻头类型	平均寿命 /m	平均小时效率 /m	平均回次进尺/m	每米钻头成本 /元	钻头价格 /元
复合胎体	19.81	1.89	2.30	25.24	500
硬质合金	<1	<1	<1.00	>100	100

4.2 宁夏鸳鸯湖矿区清水营井田煤田钻探工程

4.2.1 地层概况

宁夏鸳鸯湖矿区清水营井田位于灵武市磁窑堡煤矿附近, 是宁夏回族自治区宁武集团开发综合型能源基地的组成部分, 由宁夏煤田地质局总承包负责整个煤田的勘探工作。甘肃省核工业地质局 212

大队于2004年3月承揽部分煤田钻探工程，钻孔设计深度大多在800~1000m。自上而下钻遇的地层为第四系、白垩系和侏罗系（煤层累计18~20层）。地质设计要求第四系至白垩系近400余米厚地层不取心，穿过白垩系地层进入侏罗系地层进行取心。施工难度大的是白垩系坚硬的卵砾石层，砾石层总厚度40~100m。浅部5~20m为孤石、漂石，砾径大于20cm。20m之后砾径有所变小，砾石间有少量胶结物充填。随着深度加深，砾石层趋于稳定。卵砾石多为浅色石英、浅红色花岗岩、杂色岩类，硬度大，可钻性级别高。钻进中常规硬质合金钻头消耗量惊人，中八角单钻头进尺寿命仅在10~20cm就被早期磨损报废。

4.2.2 施工设备

- XY-5G型岩心钻机（配有水利车装置）；
- 24米高A型钻塔；
- 130KW斯太尔移动电站；
- Φ60mm摩擦对焊钻杆；
- NBB250/6型泥浆泵。

4.2.3 试验情况

我们在5个煤田钻孔中对孕镶金刚石-针状合金复合式合金钻头进行了生产试验，实际投入7只钻头，平均寿命23m，合计进尺161m（不包括扩孔工作量），单只钻头最高寿命75.35m。

图5为试验用的孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头照片。

图6为使用过的孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头磨损照片。

图7为孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头钻取的卵砾石岩心照片。

4.3 新疆哈密盆地地浸砂岩钻孔试验情况

4.3.1 试验区地层概况

新疆哈密盆地地浸砂岩型铀矿资源调查评价项目，位于哈密盆地中部十三间房一带。地层自上而下为第四系、第三系、白垩系和侏罗系。钻孔设计深度一般200~300m，最深孔400m，钻孔口径Φ105mm。施工难度大的地层主要是第四系、第三系和白垩系中的卵砾石层、钙质胶结石英砂岩。卵砾石砾径10~15cm，且砾石之间胶结物甚少，缝隙大，易产生冲洗液严重漏失，常用快干水泥材料进行封闭堵漏。钙质胶结石英砂岩层研磨性强，常规合金钻头钻进时效低，寿命短。

4.3.2 施工设备

- HXY-1500型钻机；

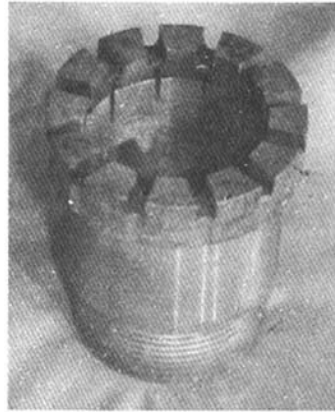


图5 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头

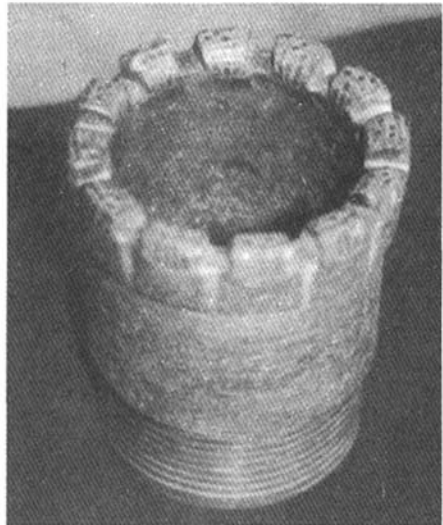


图6 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头磨损照片



图7 孕镶金刚石-针状合金复合式取心钻头钻取的卵砾石岩心照片

NBB250/6 型泥浆泵;  
12 米高 A 型钻塔;  
130KW 斯太尔移动电站;  
Φ50mm 钻杆。

#### 4.3.3 试验情况

我们在 4 个钻孔中投入 Φ105/74 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头 14 只, 平均钻头寿命 25m, 累计进尺工作量 350m, 卵砾石层和坚硬钙质胶结石英砂岩层钻进工作量约各占一半, 图 8 为钻头磨损报废形态和取出的岩心。



图 8 钻头磨损报废形态和取出的岩心

## 5 结论

(1) 在钻进卵砾石地层时, 钻头承受的冲击载荷大, 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头胎体中的针状合金可提高钻头的抗崩能力, 并能金刚石磨削岩石创造了较好的条件, 使金刚石免受剧

烈冲击载荷。一般情况下, 在卵砾石层钻进, 孕镶金刚石钻头胎体消耗速度非常快, 针状合金的存在可起硬支作用, 减慢金刚石的换层速度, 在钻进中保持胎体与岩石的接触面不变, 始终维持克取岩石的能力, 保持较高的钻进效率, 提高钻头的使用寿命。

(2) 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头综合了孕镶金刚石钻头与普通硬质合金钻头的优点, 胎体具有较高的耐磨性和抗冲击韧性。

(3) 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头单价 500 元, 在卵砾石层钻进, 每只钻头平均寿命按 20m 计算, 则每米钻头成本为 25 元。常规硬质合金钻头每只 100 元, 在卵砾石层钻进, 每只钻头平均寿命 0.80m, 则每米钻头成本为 125 元。钻进卵砾石层, 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头每米钻头成本仅为普通硬质合金的 1/5, 经济效益显著。

(4) 孕镶金刚石 - 针状合金复合式取心钻头的成功研制, 为卵砾石层钻进工作量较大的地浸砂岩型铀矿勘探、煤田地质勘探、工程地质勘探等提供了有利的碎岩工具, 有很好推广前景。

## 参考文献:

- [1] 屠厚泽. 球状合金钻头在卵砾石层钻进中的应用研究 [J]. 地质与勘探, 2000, 36 (2): 5~6.
- [2] 袁公显. 人造金刚石合成与金刚石工具制造 [M]. 长沙: 中南工业大学出版社, 1992.
- [3] 屠厚泽. 含金刚石烧结体与立方氮化硼的研制与发展 [J]. 超硬材料与工程, 1994. (1): 12~17.
- [4] 刘广志. 金刚石钻探手册 [M]. 北京: 地质出版社, 1991.