

# 浅谈国内外金刚石钻头的发展趋势——高效、低耗

赵尔信, 蔡家品, 贾美玲, 张建元

(北京探矿工程研究所, 北京 100083)

**摘要:**通过对钻头结构、钻头胎体内在性能、烧结工艺及水力流场的研究,以达到金刚石钻头高效低耗的目标,对不同结构钻头分别进行试验,取得了良好的技术经济效果。

**关键词:**金刚石钻头;结构;胎体性能;制作工艺

**中图分类号:** P634.4<sup>+</sup>1    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1672-7428(2010)10-0070-04

**Discussion on Development Trend of Diamond Bit both in China and Abroad/ZHAO Er-xin, CAI Jia-pin, JIA Mei-ling, ZHANG Jian-yuan** (Beijing Institute of Exploration Engineering, Beijing 100083, China)

**Abstract:** The structure, intrinsic performance of matrix, sintering process and hydraulic flow were studied for high efficiency and low energy consumption of diamond bit, tests were made on bits of different structures with good technical economic effect.

**Key words:** diamond bit; structure; matrix performance; manufacture process

## 1 概述

金刚石钻头的发展趋势,已由早期的单纯追求钻头寿命,忽视钻头高效的现象,转为现在对钻头首先的要求是高效,在钻速高的前提下降低钻头消耗,即大幅度地提高钻探效率和节约钻探成本,那种单纯的长寿低效钻头已不再受钻探现场的欢迎,追求的目标就是高效、稳定、低耗,这种优质钻头价格较高,但其钻速高,单位成本较低,这就是高品质钻头。那种低价竞争,低水平循环的时代已经过去,提高技术门槛,强调技术创新,摆脱过去的陈旧技术路线,走出一条自主研发、创新的道路,已展现在我们面前,让我们的钻头技术经济指标尽快赶上或超过国际水平。

目前金刚石钻进的发展态势很好,2009年钻探总工作量达1720.5万m,其中金刚石钻探工作量估计占有很大一部分,估计需金刚石钻头40万只,扩孔器20万只,需耗资近3亿元人民币,说明钻头需求量是很大的,发展空间亦是很大的。低耗:即降低钻头磨损速度节省资金,钻头和扩孔器寿命如能延长一倍,钻头和扩孔器的成本消耗可节约1.5亿元。高效:如果钻头钻速提高30%,粗略估计可节省25.8亿元。估计年钻探工作量1720万m的钻探成本为86亿元,提速30%后工期缩短可节约25.8亿元。高效低耗意味着钻速高工期短,钻头在孔内工作寿命长可减少提下钻的时间,提高台月效率,同时

降低油耗、降低钢丝绳的磨损,钻杆丝扣的磨损,提下钻次数少、减少孔壁抽吸坍塌,保证安全钻进减少事故时间,减轻工人的体力劳动。随着钻探工作量的回升近年来深孔钻探也十分兴旺,超千米的有数百口,2000m以上的深孔也有一大批,如河北、山东、安徽、辽宁,正纷纷打破国内岩心钻探深孔纪录,目前已达2500余米,特别是汶川地震科学四号孔设计深度计划3000m。深孔钻探将对金刚石钻头提出更高的要求——高效、低耗。

随着钻探工作量的发展,金刚石钻头在过去和现在皆取得过好的效果,有些成绩亦是喜人的,曾有若干较高进尺的纪录:

(1) 中国大陆科学钻探——在大直径( $\varnothing 157$  mm)硬岩中(8~9级花岗片麻岩中)二次镶嵌式金刚石钻头进尺75.23m;

(2) 在河北冀东铁矿钻探——深孔硬岩中,绳索取心二次镶嵌式钻头,最高进尺达180m;

(3) 山东乳山2000m钻机配套试验中,双层水口超过胎体钻头最高进尺115m;

(4) 江西二六五队——中深孔、砂页岩地层中,高浓度孕镶钻头最高进尺1027.59m;

(5) 山东地质六队二次镶嵌式钻头在金属矿中钻头最高进尺198m;

(6) 石油钻探——复合片钻头最高钻头纪录10027.59m。

收稿日期:2010-09-10

作者简介:赵尔信(1941-),男(汉族),江苏扬州人,北京探矿工程研究所教授级高级工程师,探矿工程专业,主要从事地质钻探、石油钻探及金刚石钻头与钻具的研究工作,北京市海淀区学院路29号,tuwen1725@163.com。

新型结构钻头的优点和正确的钻探工艺,为未来“一个钻头一口井”的目标奠定了良好的基础。

同时我们看到国内钻头与国外钻头相比仍有一定差距,通过几次国外试用发现,钻头钻速比国外低20%,钻头寿命低40%左右,这个差距需要我们从几个方面入手:

- (1) 钻头结构设计;
- (2) 钻头内在性能的提高;
- (3) 钻头烧结工艺的研究;
- (4) 钻头井底流场的模拟研究。

## 2 钻头结构的理念更新

钻头结构主要包括:钻头胎体冠面的形状、水口的形式、水口的数量、镶嵌的方式、切削齿的形状等。重点介绍几种新型钻头结构。

### 2.1 超高胎体、双水口钻头的结构(如图1)

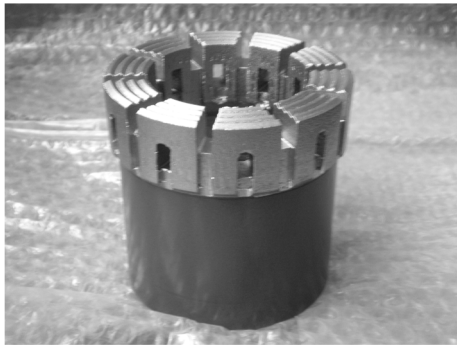


图1 超高胎体双水口钻头

#### 2.1.1 特点

(1) 钻头胎体超高设计,胎体高度为25.4 mm,我们常规设计的钻头胎体高度一般为12~14 mm,仅为超高胎体双水口钻头胎体高度的一半。

(2) 胎体中间部位开了“窗户”,即第二层和第三层水口的设计。窗户水口在原先的第二层水口未磨损光之前即已打开了。窗户水口有时设计3组(也有设计为4组,依据钻头直径大小而定),每组2个窗户水口,并且是错落分开的,即每一阶段皆有3个水口工作,冷却钻头,排除岩粉。并且由于窗户水口的错开,相邻两个水口之间胎体强度被增强了。

(3) 底水口数量少但宽度较大,具有高效的排粉能力。

#### 2.1.2 效果

在国外该类型钻头寿命提高了2倍,即标准钻头寿命为29 m,而超高胎体钻头平均寿命提高到56 m。在国内某矿区超高胎体钻头平均寿命比常规钻头提高5倍以上。同样减少钻杆在孔内的提下钻次

数,节省了时间,节约了成本。

### 2.2 超高胎体桥式联接结构(图2)

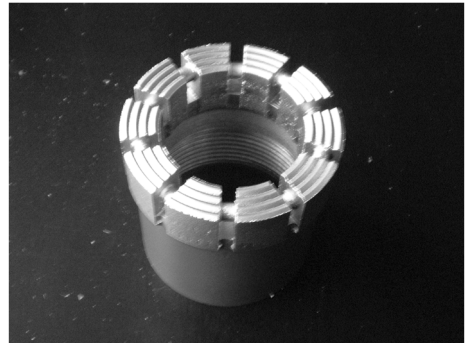


图2 超高胎体桥式连接的金刚石钻头

其特点为:

- (1) 胎体高约为22 mm,金刚石层高为16 mm;
- (2) 相邻胎体之间用“桥”加固支撑,用以增强胎体的强度,同时不影响冲洗液的流通;
- (3) 水口多,水口底面积占总胎体的50%,与岩石的接触面积小,有利提高效率,且排粉效率高。

### 2.3 主副水路结构钻头(图3)

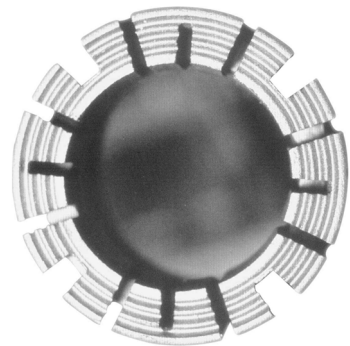


图3 主副水路钻头

其特点为:

- (1) 水口多,冷却好,副水路深入胎体的中间,有利胎体中心部分的冷却,有效防止钻头中间拉槽现象;
- (2) 副水路的宽窄大小不一,外刃部分的水路较宽,内刃部分水路较窄,促进胎体内外均匀磨损;
- (3) 减少了钻头胎体与孔底岩石的接触面积有利于提高效率。

### 2.4 二次镶嵌式结构(图4)

针对硬地层钻进,需要软胎体、高强度的金刚石钻头,但一般烧结钻头温度偏高,最低也达到940℃,否则钢体和胎体之间粘结强度较低,易发生胎体脱落。采用二次镶嵌式钻头,先制成孕镶块(热压温度800~850℃),钻头空白胎体用浸渍法制造温

度为 1200 ℃,再用钎焊方法将孕镶块钎焊到空白胎体上(钎焊温度 750 ℃),这样制造出的钻头既保证了孕镶块中金刚石不受热损伤,又保证了钻头整体强度。

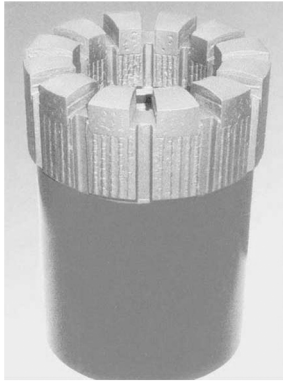


图4 二次镶嵌钻头

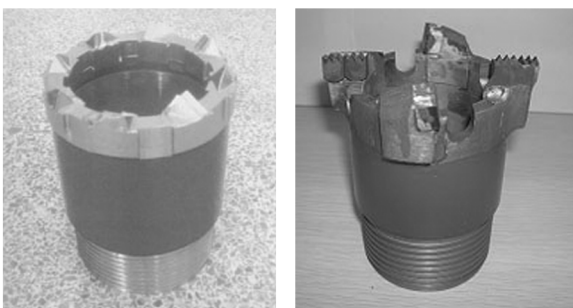
### 2.5 犁削式钻头

犁削式钻头的切削作用,在软岩中能犁出较大的沟槽,在硬岩中能抓破硬岩的表面,形成多个细小沟槽,有效破碎岩石。在尖齿根部对硬岩有挤压的作用,形成微小的压碎区,压碎区岩粉颗粒粗大,对胎体有较强的研磨作用,促使胎体中金刚石的出刃,保持恒定的钻速,上述的抓破和挤压作用,提高软、硬地层中的钻速,如尖齿交错结构的钻头(图5)。



图5 尖齿交错结构的钻头

### 2.6 齿状复合片钻头的研究(图6)



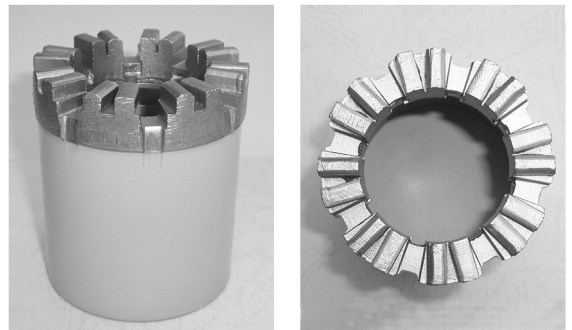
(a) 单尖齿状复合片钻头 (b) 细齿状复合片钻头

图6 齿状复合片钻头

复合片钻头已成功用于软至中硬地层,要扩大其应用范围,将其逐步应用到硬地层,使复合片钻头具有广谱性,设计尖齿复合片钻头,是一种有效的途径。

### 2.7 多水口钻头的研究

孕镶钻头钻进过程,单粒金刚石出露太小,一般为 0.1~0.2 mm 之间,冲洗液很难从钻头端面和孔底之间流动,钻头钻进中所产生的热量很难从端部散失,特别是绳索取心钻头胎体壁厚,中心部分难以散热,如胎体扇形块状较长,散热条件更差,故需设计短扇形块的钻头,最好的方案是设计多水口钻头,增加过水面积和均衡冲洗液在钻头胎体中的分布,防止经常出现的钻头端部的拉槽现象。可以设计成齿轮状钻头(图7)。



(a) 齿轮状钻头正面图 (b) 齿轮状钻头端面图

图7 齿轮状钻头

### 2.8 仿生结构钻头(图8和图9)

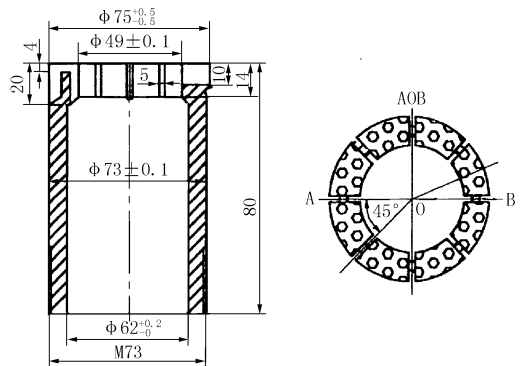


图8  $\phi 75$  mm 金刚石绳索取心仿生钻头结构设计

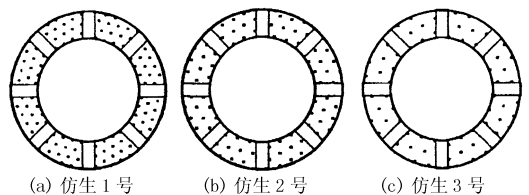


图9  $\phi 75$  mm 金刚石绳索取心仿生钻头底唇面设计

所谓仿生学就是模仿生物的科学,利用生物非光滑耐磨表面仿生特性,研制金刚石钻头的胎体表

面结构,在钻头表面非光滑度最优时,能大幅度提高钻速和寿命。

### 3 钻头内在性能理念更新

#### 3.1 超细合金粉末的研究

国内制造钻头其胎体成分以单元素为主,粉末易氧化,影响胎体的粘结性能。另外,超细粒度粉末能有效降低烧结温度,相对保持了金刚石的原始强度。

#### 3.2 以铁基粉末代替铜基粉末的研究

铁基粉末,特别是铁合金粉末,在钻头烧过程中,铁与金刚石(碳)之间能生成一种铁碳化合物,研成一个中间层,能使金刚石十分牢固地被胎体把持,金刚石不易脱落,增加钻头胎体中金刚石的工作时间,实际上延长了钻头的寿命。

#### 3.3 微量元素加入的研究

胎体成分中加入微量的稀土元素,可增加胎体的致密程度,提高胎体的强度,要依据不同配方加入一定量的稀土元素。

#### 3.4 金刚石表面覆膜的研究

多年来人们曾研究金刚石表面的处理,有采用电镀法,也有采用喷涂法,但因包裹金刚石的金属外衣,仅是一个机械式的包镶,未能形成价键结合,用它制造钻头,其钻进的效果并不显著。因此,需加强研究能激活金刚石表面,研成某种中间化合物,使金刚石与胎体牢固结合在一起,增强钻头在研磨性胎体的研究。

#### 3.5 坚硬“打滑”地层中,低耐磨性胎体的研究

坚硬“打滑”地层仍是目前需攻克的难题,研究适应该地层的低耐磨性(亦是低抗冲蚀性)的胎体十分必要,始终保持金刚石有一定的出露量,有效压入孔底岩石,保持一个恒定的钻速。

#### 3.6 坚硬“打滑”地层金刚石浓度的研究

坚硬地层钻进,首先需要较大的压力,在一定轴心压力作用下,钻头底唇面上的金刚石颗粒越多(浓度高),则单粒金刚石上压力越小,因此,需要降低胎体中金刚石浓度,可通过理论计算,求出浓度的数值。上述的低耐磨性胎体加上低金刚石浓度是解决坚硬致密“打滑”地层的有效方法。

### 4 钻头烧结工艺的研究

#### 4.1 在还原气氛烧结炉中烧结钻头工艺的研究

提高钻头烧结质量的关键是需要烧结炉中要通还原气体,其优点是:(1)保持胎体中金属粉末不断

还原,新鲜的金属粉末能降低烧结温度;(2)还原气氛中,金刚石不易被氧化保持金刚石原始强度;(3)在此气氛中钢体端部不易被氧化,与胎体结合牢固。在还原气氛烧结炉中制造的钻头,胎体强度高金刚石把持能力强,金刚石强度高,胎体和刚体连接强度牢靠。

#### 4.2 无压浸渍法制造超高胎体双水口钻头的研究

采用无压浸渍法制造工艺,是制造超高胎体及双水口钻头的有效方法。但需要研究如下问题:

(1)降低无压浸渍法的烧结温度,应控制在 1000 °C 以内;

(2)研究钻头骨架金属成分,目前骨架成分大多数是 W<sub>2</sub>C 和 WC 等,胎体十分耐磨,如钻遇坚硬致密地层这种胎体是不适合的,故要研究耐磨性低的骨架金属;

(3)研究钻头胎体的粘结金属成分,目前所用粘结金属烧结温度在 1150 ~ 1200 °C 之间,显然这样的高温有害于金刚石的强度,引起金刚石的碳化,钻头克取岩石性能将大幅下降,应研究熔化温度在 900 °C 左右渗透性能好的粘结金属。

### 5 金刚石钻头井底流场的模拟研究

图 10 是 Ø91 mm 高效复合片地质钻头的井底速度矢量图,是在 FLUENT 下进行的流场数值模拟,从图中可看出复合片周围井底的流场运动情况,可以看出复合片前面流场运动比较混乱,不利于排屑和复合片冷却。钻头水路结构改进的井底速度流场为图 11。

从图 11 可以看出 Ø91 mm 高效复合片地质钻头改进水路后井底流场速度放射状流动,无明显的回流和绕流。有利于井底岩粉排出和复合片的冷却。

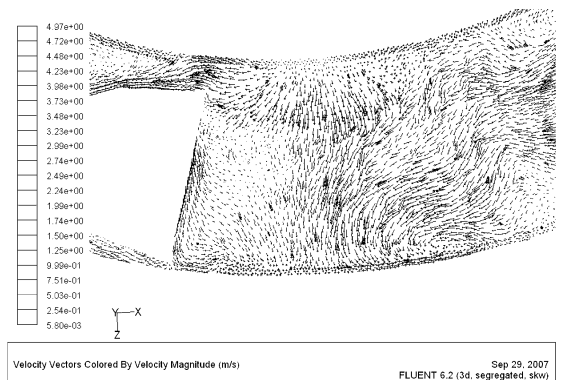


图 10 Ø91 mm 高效复合片地质钻头的井底流场速度矢量图

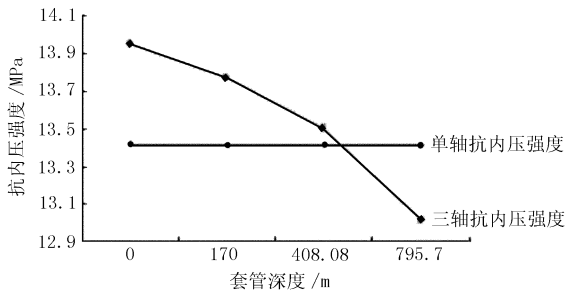


图 5 套管各典型截面处抗内压强度

(3) 套管在内液柱上表面所在截面处, 三轴抗外挤强度较有效外挤压力富余值最小, 因此该处将是三轴抗外挤强度校核的重要部位。

由图 3、4、5 可知:

(1) 图 3 说明, 采用底部浮板法, 套管轴向应力分布情况为: 上部受拉应力 ( $\sigma_a > 0$ ) 作用, 随套管深度增加, 拉应力逐渐减小, 在套管中部某一截面处轴向应力为 0, 随深度继续增加套管下部轴向受压 ( $\sigma_a < 0$ )。

(2) 图 4、5 说明, 随套管轴向应力的减小, 套管三轴抗外挤强度提高, 三轴抗内压强度降低。传统的套管强度计算方法仅考虑单轴应力作用, 忽略了轴向应力等对套管强度值的影响, 为一固定不变值, 显然三轴应力强度计算结果更为准确可靠。

### 4 结论

通过与传统单轴应力强度计算方法进行对比分析认为, 套管三轴应力强度计算结果更准确科学, 采

(上接第 73 页)

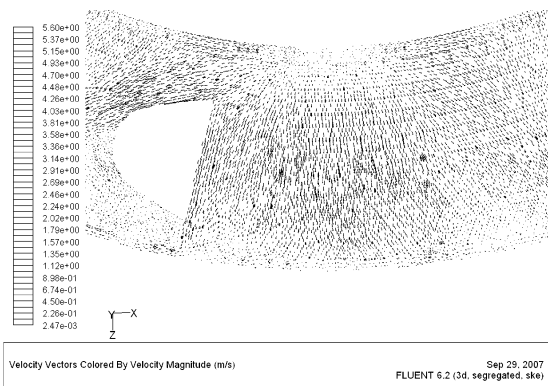


图 11 Ø91 mm 高效复合片地质钻头改进水路后的井底流场速度矢量图

### 6 结论

(1) 依据岩石性质, 设计出创新的钻头结构是

用三轴应力强度计算方法指导前期套管设计, 工程质量更加安全可靠, 值得推广应用。但是, 由于这种大直径套管并非标准化生产, 套管本身即存在着厚薄不均、圆度低、焊接垂直度和同心度差等缺陷, 加之井眼不规则、存在井斜等问题, 不可避免井眼会对套管产生一定的横向附加应力, 这种横向附加应力无法准确预知却极具破坏性, 所以实际套管设计时, 其强度设计值须留有一定余地, 以确保工程质量安全。

### 参考文献:

- [1] MT/T 1076-2008, 煤炭地质钻探规程[S].
- [2] SYT 5724-2008, 套管柱结构与强度设计[S].
- [3] SYT 5412-2005, 下套管作业规程[S].
- [4] GBJ 213-90, 矿山井巷工程施工及验收规范[S].
- [5] 周开吉, 等. 钻井工程设计[M]. 山东东营: 中国石油大学出版社, 1996.
- [6] 沈季良, 崔云龙, 王介峰, 等. 建井工程手册[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1986.
- [7] 编写组. 钻井手册(甲方)[M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [8] 陈平, 等. 钻井完井工程[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.
- [9] 高德利, 等. 复杂地质条件下深井超深井钻井技术[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
- [10] 袁志坚. 提吊加浮力塞下管法在大口径瓦斯抽排孔的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2008, 35(1): 27-29.
- [11] 李云峰. 淮南丁集矿瓦斯排放井施工技术[J]. 中国煤田地质, 2007, (8): 31-34.
- [12] 袁志坚, 白领国. 大口径瓦斯抽排孔钻探施工[J]. 西部探矿工程, 2007, (10): 82-85.
- [13] 彭桂湘. 大口径工程井常见事故原因探讨及防范技术措施[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程), 2010, 37(8): 38-41.

提高钻头钻速和寿命的主要途径;

(2) 针对地层研磨性能设计胎体耐磨性, 可降低钻头磨损, 并且保持高的效率;

(3) 坚硬致密“打滑”地层、研制低耐磨性、低金刚石浓度和高品质金刚石的钻头, 是提高钻速的主要思路;

(4) 针对钻头水口部分流场的研究, 设计钻头水路结构是科学和合理的。

### 参考文献:

- [1] 王达. 地质岩心钻探标准化的若干技术要点[A]. 深部地质钻探技术培训交流会材料[C]. 安徽黄山: 2010. 1-15.
- [2] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [3] 孙友宏. JBD-75S 仿生非光滑绳索取心金刚石钻头的研制[J]. 探矿工程, 2007, 34(S1): 291-294.