

# 复合齿形牙轮钻头及其破岩机理研究<sup>\*</sup>

胡 琴 刘清友

(西南石油大学)

胡琴等.复合齿形牙轮钻头及其破岩机理研究.天然气工业,2006,26(4):77-79.

**摘 要** 针对现有牙轮(钢齿、镶齿)钻头已难以对一些复杂地层进行有效钻进这一现状,根据对牙轮钻头破岩机理的新认识,研制了一种新型复合齿形牙轮钻头。该新型钻头是一种具有新型齿面结构的牙轮钻头,其牙轮上的牙齿由齿形齿和盘式齿复合而构成,并且各牙轮上齿形齿和盘式齿的布置方式可根据硬地层等复杂地层的特性和钻井要求进行调整。两种齿对岩石的破碎作用将会互相影响,使得破碎岩石更加容易。为此,概述了国内外在复合齿形牙轮钻头方面所做的研究工作,并详细分析了这种新型钻头的结构特点和破岩机理,指出要研制出具有良好性能的复合齿形牙轮钻头,主要应从破岩机理、布齿方法与齿面结构、齿面强化工艺、钻头整体性能台架试验及复合齿形牙轮钻头结构设计等方面进行深入研究。

**主题词** 钻井 复合齿形 牙轮钻头 盘式钻头 破岩机理 研究方向

影响牙轮钻头破岩效果的主要是牙齿结构和布齿方法。钻头的齿面结构直接与地层接触,对于岩石破碎过程和钻头工作性能的影响最大。因此,牙齿的结构形状和布置方法将直接影响钻头的破岩效率和钻井速度。综合牙轮钻头的发展过程可看出,由于材料性能的提高,加工技术的不断改进和钻头结构的日趋完善,使牙轮钻头的寿命有了大幅度的提高。近年来关于牙轮钻头破岩机理的研究发现,牙轮钻头对井底岩石的破碎过程,实际上是压入和压崩两种形式联合作用的结果,而这两种破碎机理都与齿面结构有直接的关系。所以研究和寻求新的牙轮钻头齿面结构形式,对提高牙轮钻头在一些特殊地层和特殊环境下的机械钻速、钻井进尺必将会有明显的效果和重大意义。由于近几十年来牙轮钻头在齿面结构上缺少根本性变化,因而牙轮钻头的机械钻速在一些特殊地层上没有大的提高。所以,要提高牙轮钻头在一些特殊地层和特殊环境下的机械钻速、钻井进尺,必须根据对牙轮钻头破岩机理的新认识寻求新的齿面结构。复合齿形牙轮钻头就是具有全新齿面结构的牙轮钻头。

## 一、复合齿形牙轮钻头的发展概况

对复合齿形牙轮钻头的研究在国外已作过一些

工作。在 1994 年,Baker Hughes 公司在美国申请了“Earth-Boring Bit With An Advantageous Cutting Structure”专利(U.S. 5,311,958),该钻头是将钢齿和盘式齿相复合的牙轮钻头。

我国西南石油大学在对盘式钻头几何学、运动学、齿形结构、布齿方法、破岩机理等方面进行深入研究<sup>[1-4]</sup>的基础上,也开始进行复合齿形牙轮钻头方面的研究工作。现已完成中国石油天然气集团公司石油科技中青年创新基金项目“复合齿形牙轮钻头破岩机理仿真研究”,并已获得国家专利 2 项。现在正与江汉石油钻头股份有限公司合作进行复合齿形牙轮钻头的产品研制工作。

西南石油大学申请的“复合齿形牙轮钻头”专利(99251810.5)。该实用新型涉及一种复合齿形牙轮钻头,它主要由牙爪和牙轮组成,其特点在于牙轮上的牙齿同时采用了盘形齿、镶齿和钢齿,牙轮上牙齿的布置方式可根据地层性质和钻井要求进行调整。其加工方法与现有牙轮钻头和盘式钻头相同,不会增加加工成本。该实用新型具有牙轮钻头和盘式钻头的综合破岩特点,能够适应不同地层的需要,具有较高的钻井效率和较长的工作寿命。西南石油大学申请的“复合齿形单牙轮钻头”专利(00244696.0)。该实用新型涉及一种在地壳上钻井使用的复合齿形

<sup>\*</sup> 本文系国家自然科学基金项目(批准号:50474040)。

**作者简介:**胡琴,女,1980 年生,博士研究生,从事石油机械方面的研究工作。地址:(610500)四川省成都市新都区西南石油大学博 2004 级。电话:(028)83032037。E-mail:anliuhq@163.com

单牙轮钻头。它主要由牙爪和牙轮组成,其特征是牙轮上的牙齿同时采用盘形齿和镶齿,牙轮上的布齿方式可在单牙轮上布置一圈、二圈或三圈盘形齿,其余布置镶齿。牙轮上的布齿方式可根据地层性质和钻井要求进行调整。本实用新型具有牙轮钻头和盘式钻头的综合破岩特点,因而破岩效率有较大提高。它不仅具有较高的钻井效率,而且具有较长的工作寿命,能适应不同地层需要,不会增加加工成本。

## 二、复合齿形牙轮钻头的结构特点

复合齿形牙轮钻头是一种具有新型齿面结构的牙轮钻头,其牙轮上的牙齿是由齿形齿(包括镶齿和钢齿)与盘式齿复合而构成。西南石油大学现研制的复合齿形牙轮钻头是由镶齿和盘式齿相复合而构成的牙轮钻头,它将兼有三牙轮镶齿钻头和盘式钻头的优点,且与现有牙轮钻头相比,其使用寿命长、机械钻速高。该新型复合齿形三牙轮钻头主要结构与现有的三牙轮镶齿钻头相似,也是由本体、牙轮和牙轮上镶装的硬质合金齿、轴承、油杯和喷嘴等组成。其特点在于牙轮上的牙齿同时采用了盘式齿和镶齿。钻头的每个牙轮上盘式齿和镶齿的布置不同,各牙轮上牙齿的布置方式则根据硬地层等复杂地层的特性和钻井要求进行调整,以研制出针对各地层的最佳齿面结构。其加工方法与现有牙轮钻头和盘式钻头相同,不会增加加工成本。

## 三、复合齿形牙轮钻头的破岩机理

(1)齿形齿牙轮钻头的破岩机理。钻头本体(连同牙掌轴颈)的基本运动是绕钻头中心轴线的转动和沿钻头中心轴线方向(常称为“纵向”)的移动。牙轮相对于钻头本体的相对运动是绕牙掌轴颈,即绕牙轮自身中心轴线的转动。这里忽略了牙轮中心和轴颈中心微小的不同心度<sup>[5]</sup>。钻进时,齿形齿牙轮钻头上承受的钻压经牙齿作用在岩石上,除以静载以外还有一冲击载荷。在牙轮滚动过程中,以单齿和双齿交替与井底相接触,当单齿着地时,轮轴心升高一点,滚至双齿着地时,轮轴心降低一点,然后又滚向单齿着地。如此,交替进行,钻头便随牙轮轴心高低的位移产生往复运动,从而实现冲击、压碎作用。由于牙轮钻头的超顶、复锥和移轴,引起牙轮齿形齿对地层有一定的滑动剪切和研磨作用。牙轮钻头对岩石层破碎方式可以分解成单齿对地层的破碎的综合作用结果。

(2)盘式钻头的破岩机理。盘式钻头的破岩机理根本不同于常规的齿形齿牙轮钻头,它改变了与岩石的作用特点及其破碎机理。盘式钻头的连续楔形齿圈沿岩块滚辗时,要形成同心圆环式的岩石破碎。这些破碎环分散为单个的圆环形岩屑,其大小取决于齿圈间距及岩石的机械物理性质。由于井底的圆环状破碎,增加了机械钻速和减小破岩过程中的能耗<sup>[6]</sup>。根据对盘式三牙轮钻头在台架实验和矿场试验中的分析,盘式牙轮钻头与齿形齿牙轮钻头相比,具有以下特点:①由于接触压力增加,且连续作用于井底,使得破岩效率得以提高,从而提高了机械钻速和降低了破岩能耗;②由于不存在一个齿到另一个齿的滚动,所以减小了钻头扭矩;③因为钻头与岩石相互作用的动载减小到最低,所以提高了轴承和齿面的寿命;④由于取消了费工时的铣齿工序,所以大大简化了钻头的制造工艺,从而也降低了钻头成本。根据文献<sup>[7]</sup>的介绍,盘形钻头主要适用于硬、极硬地层的钻井。西南石油大学从1995年至今在盘式钻头方面的研究工作也表明:特别是对硬、极硬、研磨性地层和在深井及小井眼中,盘式钻头将会有良好的破岩效率<sup>[8]</sup>。所以,盘式齿是一种新型的齿形结构,具有独特的优势,若将现代加工工艺技术,新材料技术,现代设计技术和计算机应用技术结合在一起,可以充分发挥盘式齿的潜力,值得我们去研究。

(3)复合齿形牙轮钻头的破岩机理。钻进时,复合齿形三牙轮钻头可利用齿形齿对岩石进行冲击、压碎,同时,由于盘式齿相对于镶齿而言与岩石接触面积更大,能充分发挥盘式齿的滚辗刮切作用。两种齿形对岩石的破碎作用将会相互影响,使得彼此破碎岩石更加容易,因而,将齿形齿和盘式齿复合起来能互相取长补短,对硬地层等复杂地层的钻进可达到事半功倍的效果。

## 四、复合齿形牙轮钻头研究方向

国内外钻头研究人员自20世纪90年代开始研究复合齿形牙轮钻头以来,有关复合齿形牙轮钻头的台架试验和现场试验的报告资料相对比较少,作者认为主要是因为复合齿形牙轮钻头是一种全新齿面结构的牙轮钻头,其研究具有探索性。同时由于影响复合齿形牙轮钻头的齿面结构、布齿方式以及该钻头与被钻岩石的适应性等的因素非常多,并且具有错综复杂的关系,这就使得复合齿形牙轮钻头的研究难度更大。但如果能将现代设计技术和计算

机应用技术结合在一起,在现有钻头的研究基础上,对复合齿形牙轮钻头进行系统的理论研究和大量的基础实验研究,探索研制出具有良好钻井性能,适应性强的复合齿形牙轮钻头是完全可行的。根据对以前研究资料的分析,结合现有技术和设备,要研制出具有良好性能的复合齿形牙轮钻头,主要应从以下几方面进行研究。

(1)破岩机理研究。要研制出具有较高工作性能的复合齿形牙轮钻头,首先必须研究复合齿形牙轮钻头的破岩机理,找到复合齿形牙轮钻头在破碎机理上与现有钻头的差异,为进一步提高复合齿形牙轮钻头的破岩效率寻求新的途径。由于新型钻头的研制工作是具有探索性的研究,影响因素繁多且存在着多种齿面结构方案的比较,新型钻头加工工艺有所改变且加工时间长,所以不能对新型钻头直接进行试验。因此,可采用间接试验的方法,即计算机仿真分析。在适当的假设条件下,建立新型钻头的破岩机理仿真模型,开发出复合齿形牙轮钻头破岩机理仿真软件,使之能完成不同钻井参数、不同齿面结构和不同岩石性能等条件下的钻头破岩机理仿真分析,为新型钻头的设计提供理论依据。

(2)布齿方法与最佳齿面结构研究。影响牙轮钻头破岩效果和钻井速度的主要是牙齿结构和布齿方法。复合齿形牙轮钻头是一种新型齿面结构的牙轮钻头,合理可靠的钻头牙齿齿形和齿面结构将是决定整个钻头性能的关键。所以针对不同的钻井要求,确定钻头的最佳齿形参数和齿面结构是研究复合齿形牙轮钻头的重要工作之一。该研究工作需要做大量的单齿圈破岩试验和复合破岩试验,为复合齿形牙轮钻头的齿面结构设计提供必要的试验依据。

(3)齿面强化工艺研究。由于盘式齿圈在与岩石作用时,极易发生疲劳破坏和磨料磨损而失效<sup>[9-10]</sup>。要使复合齿形牙轮钻头具有较好的工作性能和较长的使用寿命,提高复合齿形牙轮钻头上盘式齿的齿面强度和耐磨性是复合齿形牙轮钻头能否具有竞争力的关键,也是复合齿形牙轮钻头面临的主要任务。

(4)钻头整体性能台架试验研究。在对复合齿形牙轮钻头的研究中,测试复合齿形牙轮钻头在钻井过程中的整体工作性能是很重要的工作。根据台架试验结果进行比较分析,可对复合齿形牙轮钻头

的结构作进一步的调整。

(5)复合齿形牙轮钻头结构研究。由于复合齿形牙轮钻头齿面结构不同,其应用范围将不同,这就使得复合齿形牙轮钻头不仅适用于一般地层,而且能适用于硬地层等复杂地层和一些特殊钻井工况的要求。而随着加工技术和各种强化工艺技术的发展及成功应用,使我们能够实现对复合齿形牙轮钻头的结构设计,可以根据实际钻井需要设计出适合于多种工况的复合齿形牙轮钻头。

## 五、结 论

随着新材料,新工艺技术的发展及其在生产中的成功运用,使得探索研制出具有良好钻井性能、适应性强的新型牙轮钻头是完全可行的,而且是十分必要的。复合齿形牙轮钻头是一种具有全新齿面结构的牙轮钻头,它具有齿形齿钻头和盘式钻头的综合破岩优点和良好的工作性能,并具有较高的钻井效率和较长的工作寿命,比常规的牙轮钻头更具有发展潜力,更值得我们去研究。

## 参 考 文 献

- [1] 吴泽兵,刘清友.盘式钻头与岩石互作用计算机仿真[J].西南石油学院学报,1998,20(1).
- [2] 刘清友,吴泽兵,马德坤,等.盘式钻头破岩机理仿真分析[J].石油机械,1998,26(9).
- [3] 刘清友,邱亚玲,彭晓东.盘形钻头刮切实验数据分析处理[J].西南石油学院学报,1999,21(2).
- [4] 刘清友,邱亚玲,姚志恒.盘形钻头牙齿刮切实验研究[J].钻采工艺,1999,22(4).
- [5] 马德坤.牙轮钻头工作力学[M].北京:石油工业出版社,1994.
- [6] 刘清友,吴泽兵,马德坤.盘式钻头及其破岩机理[J].天然气工业,1998,18(1).
- [7] Симонов В В, Выскрецов В Г. Работа Шарошечных Долот и их Советование [J]. Москва: Недра, 1975:5-85.
- [8] 刘清友,祝效华,邱亚玲,等.盘式单牙轮钻头台架试验研究[J].天然气工业,2003,23(2).
- [9] 谢宝龙,黄志强,李琴,等.冶金烧结强化盘式钻头齿圈的试验研究[J].石油机械,2003,31(9).
- [10] 黄志强,刘清友,郭召海,等.盘式钻头齿圈强化工艺技术试验研究[J].西南石油学院学报,2003,25(4).

(收稿日期 2005-09-19 编辑 钟水清)