

# 3500 m 全液压岩心钻机动力头结构设计

伍晓龙<sup>1</sup>, 刘凡柏<sup>1</sup>, 刘智荣<sup>2</sup>

(1. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000; 2. 西北综合勘察设计院, 陕西 西安 710003)

**摘要:**在简要阐述了动力头设计的作用及其设计应当满足的条件和动力头设计的一般过程的基础上,介绍了3500 m全液压岩心钻机动力头的设计过程和设计方案,并总结了该动力头的性能特点。

**关键词:**全液压岩心钻机;动力头;结构方案设计

**中图分类号:**P634.3<sup>†</sup>1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)09-0013-05

**Structure Design of Power Head for Full Hydraulic Core Drill/WU Xiao-long<sup>1</sup>, LIU Fan-bai<sup>1</sup>, LIU Zhi-rong<sup>2</sup>** (1. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China; 2. Northwest Research Institute of Engineering Investigations and Design, Xi'an Shaanxi 710003, China)

**Abstract:** The design process and the scheme of power head for 3500m all hydraulic core drill are presented. The paper briefly describes the conditions which should be met for power head design and the general design process, mainly exposes the design process of power head for 3500m all hydraulic core drill and summarizes the power head performance characteristics.

**Key words:** all hydraulic core drill; power head; structural scheme design

## 0 前言

矿产资源是人类重要的生产资料,是人类社会赖以生存和继续发展的基本保障和物质基础,一个国家自身的资源越丰富,对经济发展的保障程度越高,资源供应的安全性同时也就越高。在20世纪后20年里,我国依靠国内丰富的浅层矿产资源,成功实现了第一个“GDP翻两番”的经济目标。但随着经济规模的不断扩大以及人口的持续增长,对石油、天然气、铁、铜、铬铁、钾盐等矿产资源的需求急剧增加,社会经济发展与资源环境供给不足的矛盾日益突出。目前,国外固体矿产勘探开采深度已经突破2000 m,随着我国矿产开采力度的不断加强,地表矿、浅部矿、易识别矿日益减少,重要资源的可采储量显著下降,难以满足现代化建设的需要,严重制约了未来经济的发展。目前,我国的岩心钻探设备仍以20世纪70年代发展起来的立轴式钻机为主,除少数机型钻进能力可达3000 m外,多数机型在2000 m以内。现有的钻探设备无论是在钻进能力,还是在对多种钻探新工艺配套的适应性方面都不能满足深部找矿的需要。为给深部地质勘探及岩石圈科学钻探研究提供强有力的支撑,急需开展深孔用成套地质岩心钻探技术及其装备的攻关研究。为此,中国地质调查局将开展“3500 m岩心钻探装备”

研究作为“十二五”地调项目之一,本文主要就该钻机动力头的设计过程进行分析。

## 1 动力头的作用及设计要求

动力头作为钻机的核心部件之一,其主要功能是为钻杆和钻具的回转提供所需的转矩和转速,实现孔底钻头通过连续旋转破碎岩石并连续延伸钻孔的目的。为此,其结构和性能要务必满足钻进工艺的下列要求。

(1) 动力头的转速和转矩应满足钻进工艺的要求。在钻进过程中,钻头所需的转矩和转速是由孔底岩石的性质、结构、以及钻头的直径和钻进方法来决定的,况且由于孔底地层状况也不能完全事先已知,所以要求动力头具有的转速和转矩能够可调为最好,调节范围与钻进的工艺和方法要相适应,最大限度满足在各种环境下的需求。

(2) 动力头应当具有适当的加压钻进与提升装置,以满足加减压钻进工艺的要求。

(3) 动力头中的齿轮和轴承在钻进过程中应具有良好的润滑,以免使齿轮发生齿面磨损、齿面点蚀、齿面胶合等齿轮常见的失效;能够保证轴承不会因温度过高而烧坏,能够延长轴承的使用寿命。

(4) 动力头的通孔直径应当与钻机的类型、钻

收稿日期:2014-06-30

基金项目:中国地质调查局地质大调查项目“3500 m深部地质勘查全液压钻探装备配套示范”(12120113016500)之“3500 m岩心钻探装备”(121211120235)

作者简介:伍晓龙(1987-),男(汉族),陕西白水人,中国地质科学院勘探技术研究所助理工程师,机械设计制造及其自动化专业,主要从事岩心钻探设备设计制造及科研工作,河北省廊坊市金光道77号,wxl1987516@163.com。

进工艺和方法相匹配。

(5)动力头在回转的过程中应当平稳,振动和噪声较小。

## 2 动力头设计主要技术参数

根据 3500 m 钻机所需钻进深度,确定该钻机动力头主要技术参数为:输出扭矩 3000 ~ 13000 N · m,系统压力 31 MPa,主轴转速 0 ~ 605 r/min,提升能力 800 kN。

## 3 动力头方案设计

### 3.1 钻机动力头总体结构方案设计

动力头一开始采用双马达加一级齿轮减速的驱动方式,2个马达的排量均为 190 mL/r,可无级调速,向液压件供应商定货时,供货商建议选用 160 mL/r 的马达 4 台,因为 160 mL/r 的马达在市面上比较多,价格实惠,供货期短,如选用 190 mL/r 的马达,该马达出货少,价格高,供货期长,所以最终采用 4 马达加一级齿轮减速的驱动方式。驱动马达为无级变速,在最大排量与最小排量之间可无级变化,因而具有很宽的调速范围,从而使动力头的最终输出转速可适应不同钻进工况的需求。通过电比例控制实现动力头转速的无级变化(变扭),通过控制泵的输出流量实现动力头的无级变速(容积调速)。传动系统中,采用一级齿轮传动,能够减小动力头的结构尺寸,增大传递效率,能够最大限度地输出传递扭矩。为了能够更好地完成本次设计,我们对动力头初步设计了以下 3 种方案,如图 1~3 所示。

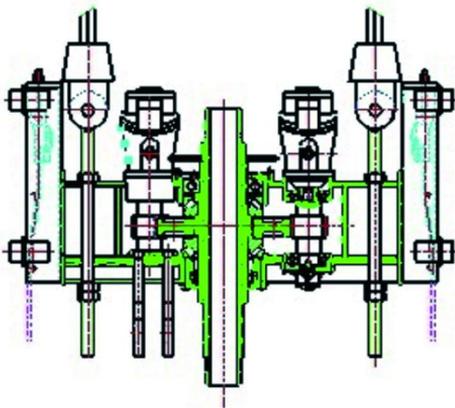


图 1 方案一

### 3.2 各方案的特点

上述方案中,方案一和方案二受力结构大体相似,方案一是把动力头箱体和滚轮架做成一个整体,

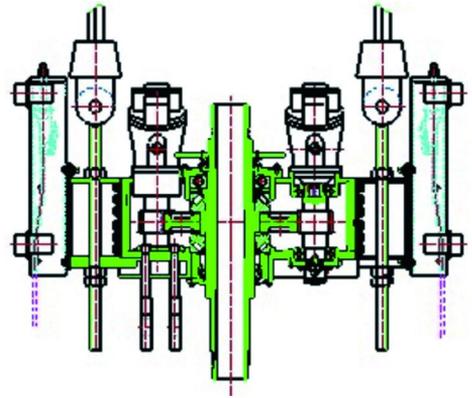


图 2 方案二

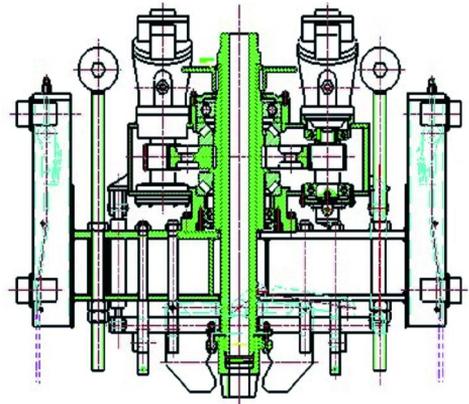


图 3 方案三

使其受力情况较方案二好;方案二是将动力头箱体和滚轮架分开制作,便于加工、制造和装配;但是经过计算其受力情况没有第一种方案好;尤其是分体处用螺栓连接,在工作时螺栓会受到较大的剪切力,容易使螺栓剪断;为此放弃第二种方案。可是第一种方案在计算箱体受力的过程中计算箱体受力变形过大(具体计算过程和变形大小将会在下文详细列出)超出了轴承的间隙,容易在工作过程使轴承卡死,从而使主轴转动受阻,会使马达和轴容易损坏;经过一系列计算和改进并不能解决这一问题。为解决这一问题在以上两种方案的基础上又设计了第三种方案,该方案加入了动力头底座组件将滑轮架固定在底座上,使箱体和底座分开,不仅便于加工和制造,也便于装配,经过计算可以更好解决上述问题,经过反复计算和比较,该方案能够很好地满足该项目中对动力头参数的要求,为此,我们最后采纳了第三种方案,详细结构见图 4。

## 4 动力头受力计算分析

### 4.1 动力头箱体设计计算

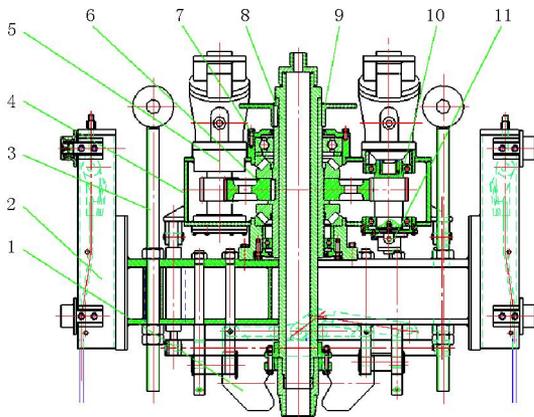


图 4 动力头总成

1—对中器组件;2—底座组件;3—提升吊环;4—箱体;5—马达;6—大齿轮;7—六方轴套;8—六方轴;9—刹车盘;10—齿轮轴;11—润滑油泵

箱体作为动力头的基础零件,它将动力头中的轴、套、齿轮、轴承等有关零件组装成一个整体,使它们之间保持正确的相互位置,并按照一定的传动关系协调地传递运动或动力。动力头箱体不同于一般的减速箱体,它在工作的过程中受力较大,其变形的大小会影响零件的传递精度,影响钻机的钻进性能,产生大的噪声等。为了更好地处理该问题,我们在动力头的设计过程中对箱体的受力做了多轮的计算和校核。

分析上述 3 种设计方案,可知方案一和方案二箱体受力基本相同,我们以方案一箱体受力为参考计算箱体的受力和变形情况,在该种方案的设计中,我们通过反复计算修改相关参数数值来确定该方案的受力情况和在最佳受力情况下的参数值。

#### 4.1.1 方案一箱体受力分析

(1)箱体上盖板厚 15 mm,下底板厚 30 mm,矩形筋板底板厚 20 mm,两立板厚 8 mm。应力位移如图 5、6 所示。

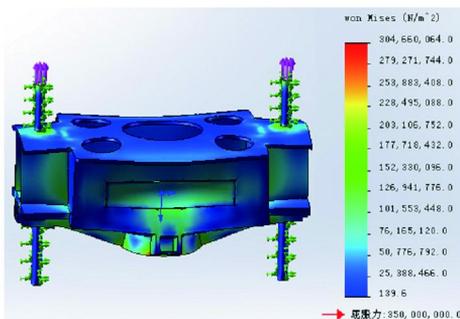


图 5 应力图

(2)箱体上盖板厚 15 mm,下底板厚 30 mm,矩形筋板底板厚 8 mm,两立板厚 20 mm。应力位移如

图 7、8 所示。

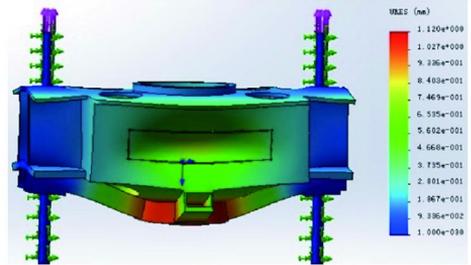


图 6 位移图

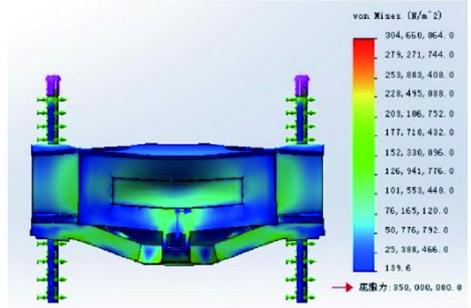


图 7 应力图

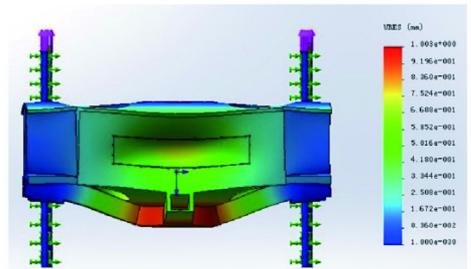


图 8 位移图

(3)箱体上盖板厚 15 mm,下底板厚 30 mm,矩形筋板底板厚 20 mm,两立板厚 20 mm,加上横向矩形筋板厚均为 20 mm,加上斜筋板厚度 10 mm,应力位移如图 9、10 所示。

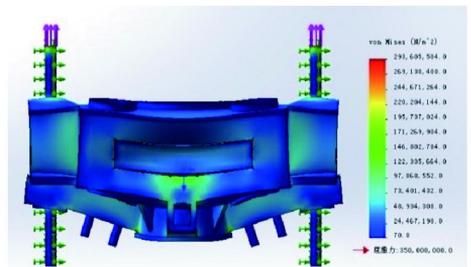


图 9 应力图

经过上述分析计算,箱体的受力虽然能够满足材料的屈服极限,但是箱体在该种受力情况下产生的变形始终在 0.4 ~ 0.6 mm 之间,然而该动力头结构设计中应用的深沟球轴承的间隙在 0.02 ~ 0.03 mm 之间,这样箱体的变形远远大于轴承的间隙,在

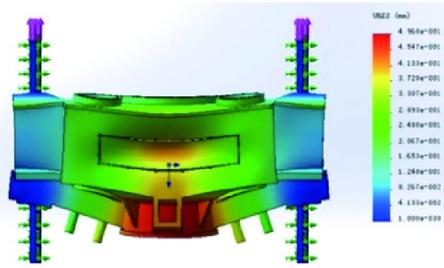


图10 位移图

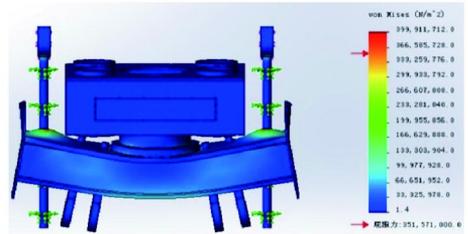


图13 应力图

工作的过程中就会容易使轴承卡死,损坏轴承,使动力头主轴的中心发生变化,严重影响钻孔的垂直度,并且轴承的卡死也会产生一些其他严重的事故,可见该方案不能够满足本次动力头箱体的设计需要。

#### 4.1.2 方案三受力分析

在该方案中,箱体的受力能够最终传递到动力头底座上面,使得箱体几乎不受力,这样更好地解决了箱体的受力情况,且在该受力情况下,箱体的变形是均匀的,也就是说箱体、齿轮、轴承等箱体中的全部零件是整体变形,这样并不会使轴承产生卡死的情况,也就避免了上述轴承产生卡死时出现的其他情况。具体分析如下:

(1)箱体上下板厚度均改成 16 mm,为箱体做一个受力平台,平台上板厚 30 mm,下板厚 20 mm,中间用 100 mm × 150 mm × 6 mm 的矩管连接,应力位移如图 11、12 所示。

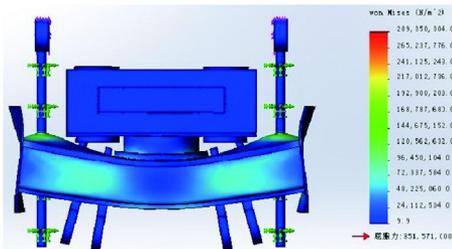


图11 应力图

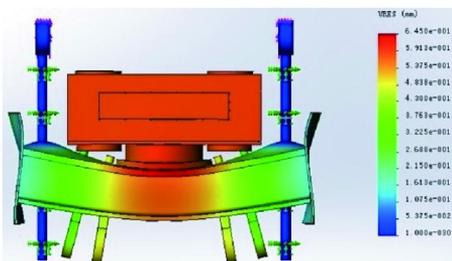


图12 位移图

(2)箱体上下板厚度均改成 16 mm,为箱体做一个受力平台,平台上板厚 30 mm,下板厚 20 mm,中间用 20 槽钢连接,槽钢外面加 20 mm 的立筋板,应力位移如图 13、14 所示。

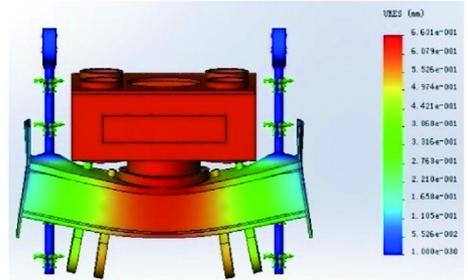


图14 位移图

比较方案三中两种方案的应力和应变,其数值的变化不是很大,针对这两种方案的计算结果,我们最终采用方案三中第 2 种方案参数数值来进行动力头箱体的设计和加工。

#### 4.2 动力头总体受力分析

对动力头总体结构的受力分析,我们选用了比较专业的 ANSYS10.0 版本的仿真分析软件,经过对实际工作状态零件的受力加载和求解过程,得到了应力和变形 2 个方面收敛的分析结果。

##### 4.2.1 应力分析

动力头结构中最重要的一部分就是传动部分,即大齿轮和小齿轮的啮合是否正常,因此应力分析主要考虑齿轮位置所处的应力状态。对于其它的部分,只考虑容易产生应力集中的位置。动力头主要组成部分所用材料分别是 20CrMnTi 钢(用于齿轮与轴类)、GCr15 轴承钢(用于轴承)和 20 钢(用于箱体)。上述组成部分所用材料的屈服强度分别为:大于 850 MPa、1667 ~ 1814 MPa、275 MPa。分析结果如图 15、16 所示。

经过应力计算可以看出齿轮部分的最大应力为 51 MPa,远小于所用材料的屈服强度,因此齿轮处结构较稳定;在承力环处,可以看出承力环螺栓孔与螺栓连接处应力较大,需采用材质较好的螺栓;箱体最大应力位置在焊接处,由于焊接材料的加固作用,因此箱体结构较稳定。

##### 4.2.2 变形分析

动力头变形分析的关键部分与应力分析一样,主要研究大小齿轮的变形量,以分析变形量是否会

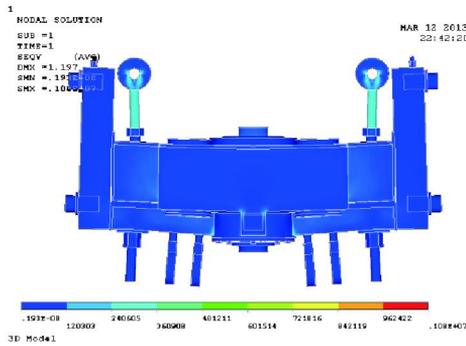


图 15 动力头整体等效应力图(单位:kPa)

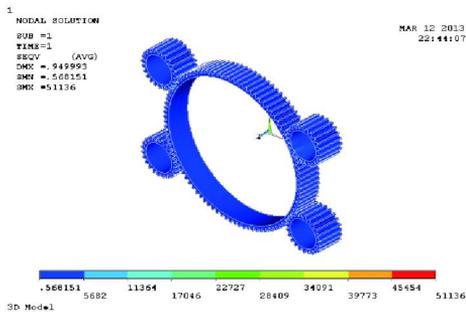


图 16 动力头齿轮部分等效应力图(单位:kPa)

形范围内;动力头整体最大位移为 1.197 mm,所在位置为钻杆与卡盘接触处,考虑到相对位移,只有 0.4 mm,因此该设计符合要求。

### 5 动力头特点

(1)该动力头在传动结构上用 4 个变量马达分别带动 4 个齿轮轴,通过齿轮轴来带动大齿轮,这样能够最大限度地保证输出轴的扭矩,并且通过对变量马达的控制能够保证输出轴的转速在较大范围内变化。

(2)动力头主轴具有浮动功能,即动力头主轴与传动轴之间采用 6 方传动,主轴可在传动轴内上下自由移动 80 mm,又可传递回转扭矩,大大方便了钻杆的上下扣,减小了钻杆丝扣的不正常磨损。

(3)结构上采取分体连接方式,即受力支架与传动箱体连接组成动力头总体,这样做的好处是,受力支架可采用桁架结构,强度大质量轻,传动箱体可做得比较小,减重量减成本。在主要受力时,由支架承受外力,传动箱体及传动件不受大的外力,提高了传动件的使用寿命。

(4)为使该钻机适应多种工艺的钻进,特别是在定向钻探作业时,要求钻杆不能转动,为此在动力头上装有液压钳盘制动器,为常开式,需要时控制液压油进入钳盘式制动器油缸,钳盘夹住钻杆防止其回转。

(5)针对钻杆上扣时不易对中的问题,动力头上装有对中器组件,能够满足在加装钻杆时钻杆的公扣和母扣快速对中问题,使钻杆与输出轴快速对接,更方便的加装钻杆。该机构在正常回转转进时可升起,让开旋转主轴空间,便于其他操作需求。

(6)动力头高速回转时需要良好的润滑与散热,否则会使箱体内的齿轮、轴承因受热较大而产生变形、损坏。为此在齿轮传动箱体的底部,对应一个液压马达的下方装有双向润滑油泵,润滑油泵从箱体中吸油,高压油则通过管路向 5 处轴承点进行润滑,同时带走热量,保证了动力头回转系统的可靠工作。

(7)该动力头可匹配吊卡与吊环,不必每次拧一次扣提升一次立根,只需将吊卡卡住立根即可提升,这样可减少辅助时间,提高钻探效率。正常回转钻进时将其拆下即可,方便快捷。

对正常的啮合造成影响。因为如果齿轮间的相对位移较大(大于 0.1 mm),会对齿轮的正常啮合造成很大的影响,容易发生卡齿,变形分析结果如图 17、18 所示。

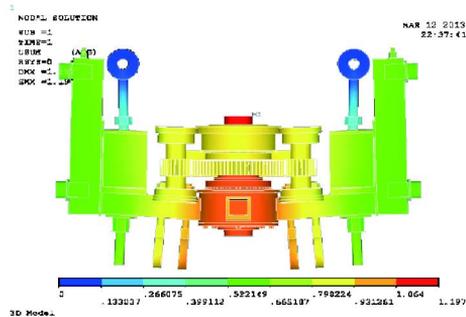


图 17 动力头去掉箱体总位移图(单位:mm)

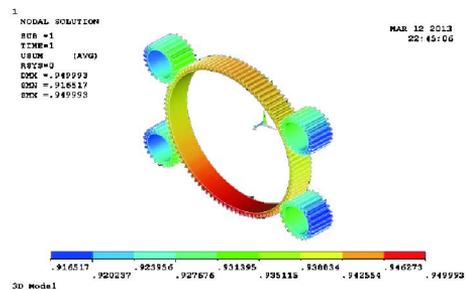


图 18 齿轮总位移图(单位:mm)

从计算结果可以看出本项目工况下大小齿轮间的相对位移只有 0.034 mm,在轴承正常运转允许变

(下转第 22 页)

## 5 结论

根据以上分析、研究、讨论和实验,可以得出以下结论。

(1)孕镶金刚石钻头钻进时,钻头金刚石破碎岩石,岩屑沉积孔底,磨损钻头胎体,使金刚石露出,继续破碎岩石。钻压和钻头回转速度可以决定钻进速度和孔底岩屑的多少,但不能改变留在孔底岩屑的数量,而改变孔底岩屑的数量在很大程度上取决于冲洗液的数量。只有冲洗液量合适时,才能保持孔底有适量的岩屑,既能保证岩屑有效磨损胎体,金刚石露出,保持正常钻进,又不至于孔底岩屑过多而使钻头产生非正常磨损。可见,在这种情况下,冲洗液量大小是决定金刚石正常钻进中非常关键的规程参数。正确确定岩屑规程,可以保证正常钻进。

(2)钻孔结构,特别是开孔直径对冲洗液量的计算有很大影响,因为冲洗液量是根据钻开孔直径平方和钻杆直径平方的差计算的。开孔直径越大,可能会导致计算的所需流量偏大,使孔底保留合适岩屑以保证正常钻进受到很大影响,这一点不大引起人们的注意,应该引起重视。

(3)在钻探过程中,冲洗液走过非常复杂的路线,在冲洗水路系统中经过形状和尺寸不同的通道,引起流速和压力的变化。计算和进行的实验证明,在冲洗液一定流量和速度下,这种变化会引起空化气蚀现象,对钻头产生严重磨损,大大影响钻探的技术经济指标。

(4)空化气蚀现象是由于冲洗液在钻进过程中通过不同尺寸、形状的通道,造成流速和压力急剧变化而产生的。如果我们能够设计出一种新型钻头,

使其各个通道的面积都相等,消除流速和压力的变化,就可以基本上消除空化气蚀现象。使各个过水面积 $S-1$ 、 $S-2$ 、 $S-3$ 、 $S-4$ 、 $S-5$ 都相等的钻头,可以解决冲洗液空化气蚀问题,可使钻头寿命提高20%~25%,机械钻速提高10%~20%。

(5)为了保证在金刚石钻进时,确定合理岩屑规程,保证钻头正常钻进,应该把供给的冲洗液量和机械钻速挂起钩来。公式(3)给出了供给的冲洗液量和机械钻速比的合理边界条件范围,低于下限边界条件,就会出现钻头胎体非正常磨损,高于上限边界条件就会产生金刚石钻头抛光,必须保证这个比值始终处于正常钻进的边界条件范围之内。

## 参考文献:

- [1] 刘广志. 金刚石钻探手册[M]. 北京:地质出版社,1991.
- [2] В. Ф. Чихоткин, 段隆臣, 等. 基于破碎单位体积岩石能耗量设计坚硬研磨性岩石用钻头方法的研究[J]. 2012, 39(S2).
- [3] 汤凤林, 段隆臣, В. Ф. Чихоткин, 等. 合理设计岩屑规程 保证正常钻进条件——金刚石钻进技术专题之一[J], 2004, (6).
- [4] Чихоткин В. Ф. Исследование призабойных процессов в алмазном бурении[M]. Москва:1998.
- [5] Чихоткин В. Ф. Разработка основных положений процесса алмазного бурения с целью создания высокоэффективного алмазного породоразрушающего инструмента[M]. Москва:1998.
- [6] Д. Н. Башкатов. Оптимизация процесса бурения[M]. Москва:2006.
- [7] ДОКЛАДЫ, К МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ ИДЕИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ»[R]. ТОМ 1, 2009.
- [8] ДОКЛАДЫ, К МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «НОВЫЕ ИДЕИ В НАУКАХ О ЗЕМЛЕ»[R]. ТОМ 3, 2009.
- [9] Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент - техника и технология его изготовления и применения[A]. Сборник научных трудов[C]. Киев:2010.

(上接第17页)

## 6 结语

通过对本次动力头的设计,了解到在动力头的设计过程中应当注意以下问题:

(1)了解相关的钻探工艺,钻机整体设计及部件的设计一定要满足相关钻探工艺方法的要求;

(2)综合考虑动力头的外形尺寸、传动系统的结构,尽可能小的减小外形尺寸,减小工作时的噪声和振动;

(3)确定动力头关键受力的零部件,并对该零部件进行校核计算,优化零部件的结构和尺寸;

(4)结合动力头在实验过程中的问题进行动力头的改进、完善。

## 参考文献:

- [1] 冯德强. 钻机设计[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,1992.
- [2] 成大先. 机械设计手册[M]. 北京:化学工业出版社,1993.
- [3] 吕冰. ZYW-1200 煤矿用全液压钻机动力头设计[J]. 矿业安全与保护,2010,(4).
- [4] 沈怀浦,等. ANSYS 在液压岩心钻机动力头设计中的应用[J]. 地质装备,2011,(4).
- [5] 闻帮椿. 机械设计手册[M]. 北京:机械工业出版社,2010.
- [6] 王繁荣. XD 系列全液压力头岩心钻机的研制和应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(12).
- [7] 王占军,陆秋云. 新型钻机动力头的研制[J]. 工程机械,2000,(5).
- [8] 周艳,王晓华. 竖井钻机动力头的设计[J]. 矿山机械,2010,38(15).
- [9] 吕冰,等. ZY-600 煤矿用全液压力坑道钻机动力头设计[J]. 矿业安全与保护,2007,34(2).