

仿生耦合孕镶金刚石钻头底唇面非光滑形态的优化

李小洋¹, 孙友宏¹, 王传留², 马银龙¹, 李守圣³, 曹宇¹

(1. 吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026; 2. 中煤科工集团西安研究院, 陕西 西安 710077; 3. 黄河勘测规划设计有限公司, 河南 洛阳 471002)

摘要:基于仿生耦合理论研制的仿生耦合孕镶金刚石钻头,在工作过程中,仿生单元的提前磨损,会在其底唇面上形成一定的非光滑表面形态,因此其具有钻进效率高和使用寿命长的优点。探讨了仿生单元的同心圆排列方式,即通过改变仿生单元之间的径向和周向距离,来形成一系列非光滑表面形态,然后加工相应的仿生耦合钻头,并进行室内钻进实验,结果表明,径向距离为 $1.5d$ (d 为仿生单元直径)、周向距离为 $3.0d$ 和径向距离为 $2.0d$ 、周向距离为 $3.5d$ 两种排列方式更能体现仿生耦合钻头高效率、长寿命的优点,相对普通钻头,其效率和寿命分别提高16%、100%和15%、125%。为以后仿生钻头的设计提供了重要依据。

关键词:仿生耦合孕镶金刚石钻头;非光滑;仿生单元;优化

中图分类号:P634.4⁺1 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2012)05-0075-03

Optimization of Non-smooth Arrangement of Bionic Coupling Impregnated Diamond Bit's Crown/LI Xiao-yang¹, SUN You-hong¹, WANG Chuan-liu², MA Yin-long¹, LI Shou-sheng³, CAO Yu¹ (1. College of Construction Engineering, Jilin University, Changchun Jilin 130026, China; 2. Xi'an Research Institute of China Coal Technology & Engineering Group, Xi'an Shaanxi 710077, China; 3. Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., Luoyang Henan 471002, China)

Abstract: Since bionic non-smooth theory is used in drilling field, bionic impregnated diamond bits have great advantages in improving drilling efficiency and prolonging lifespan and the bionic bits mainly depend on the bionic non-smooth arrangement of bit's crown. The bionic non-smooth arrangement is made of several bionic elements; therefore according to circular arrangements of bionic elements, 13 different bits (including one common diamond bit) are designed and manufactured, each has different radial distance and circumferential distance. A series of experiments are conducted, it is showed that 2 bits (No. 4 and No. 11) have good performances which radial distances are $1.5d$ and $2.0d$ (the d is the diameter of bionic element) and circumferential distances are $3.0d$ and $3.5d$. Compared to the common impregnated diamond bit, penetration rate and lifespan of No. 4 are increased 16% and 100% and No. 11 is increased 15% and 125%.

Key words: bionic impregnated diamond bit; non-smooth; bionic element; optimization

0 引言

随着国民经济的快速发展,对矿产资源的需求大幅度增加,伴随勘探量的增多,碰到的硬岩地层越来越多。为解决硬岩钻进的难题,国内外许多研究人员进行了不懈的努力^[1]。而把仿生学与钻头设计结合起来,基于仿生耦合理论研制的仿生耦合孕镶金刚石钻头,具有钻进效率高和使用寿命长的优点,原因在于在工作过程中,仿生单元的提前磨损,会在仿生耦合钻头唇面上形成非光滑表面形态^[2]。大量实验证明,非光滑表面形态具有耐磨、降阻、脱附等功能^[3]。而以往仿生耦合钻头的加工中,仿生单元的排列是随机的,并没有明显的规律,这就限制了对其进一步的深入研究。而本文给出了仿生单元的同心圆排布规则,并通过室内实钻实验,对以此规则排布的一系列非光滑表面形态进行了研究,进而提

出了最优的仿生单元排布方式,为后续仿生耦合钻头的加工提供了依据。

1 仿生单元排布设计

1.1 仿生单元周向间距设计

在设计周向排布时,两个相邻仿生单元圆心之间距离也按圆弧长度计算。如果同圆周上两相邻仿生单元圆心距(D_A)是仿生单元直径(d)的1.0倍时,就意味着两个仿生单元是相切的关系,在钻头的实际工作过程中,会在底唇面形成凹槽,这与所要形成的非光滑形态相去甚远,所以本文采用仿生单元的直径(d)来度量同圆周上两相邻仿生单元圆心距(D_A)。设计时,对两个仿生单元圆心距是直径的1.5倍开始排布,再加上2.0、2.5、3.0、3.5和4.0倍,一共排布6个非光滑形态进行试验(见图1和2)。即:

收稿日期:2011-11-23; 修回日期:2012-04-11

作者简介:李小洋(1988-),男(汉族),河南南阳人,吉林大学硕士研究生,地质工程专业,主要从事岩土钻凿工艺及机具的研究,吉林省长春市吉林大前街北区402,770613273@qq.com;孙友宏(1965-),男(汉族),江苏如皋人,吉林大学建设工程学院院长、教授,博士生导师,探矿工程专业,主要从事岩土钻凿工艺及机具的研究, syh@jlu.edu.cn。

$$D_A = nd \quad (1)$$

式中: n ——倍数, $n = 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0$ 。

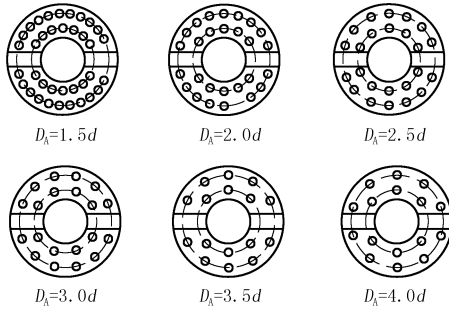


图1 $D_R = 1.5d$ 仿生单元布置图

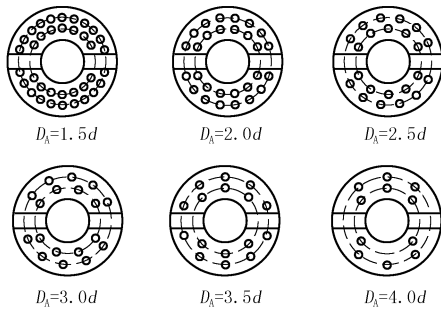


图2 $D_R = 2.0d$ 仿生单元布置图

1.2 仿生单元径向间距设计

由于本文设计的小口径仿生钻头的厚度为9 mm,根据实际加工要求,设计两列仿生单元同心圆周排布,两列仿生单元的径向间距(D_R),同样由仿生单元的直径(d)来确定。综合钻头的性能考虑,满足下列关系:

$$D_R = nd \quad (n = 1.5, 2.0) \quad (2)$$

综合以上分析,可以设计出仿生单元圆周排布方式,如图1和2所示。并按照图1和图2所示顺序对钻头进行编号,仿生1号,2号,3号,……,12号。由图可知,仿生单元圆周排列的试验,外加一个相同尺寸普通的金刚石钻头(编号13号),共需加工13个孕镶金刚石钻头。

2 仿生钻头的加工与室内试验

2.1 仿生钻头结构

在设计仿生钻头结构时,要考虑成本因素,在加上本次实验用钻头全部在室内进行,所以就设计成直径为30 mm的小径仿生钻头。但在仿生钻头加工时,要在底面布置非光滑结构,所以胎体的厚度不易太薄,否则就大大限制了非光滑形态的排列形式。综合各方面的因素,设计的小口径钻头结构如图3所示^[4]。

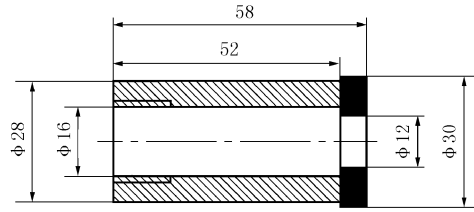


图3 仿生钻头结构图

2.2 仿生钻头的加工

设计完之后,即可进行仿生钻头的加工,具体流程如图4所示。

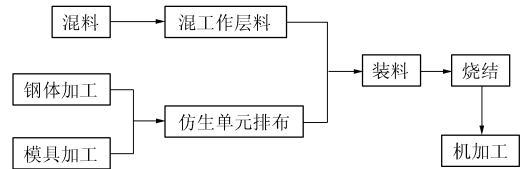


图4 仿生钻头的加工流程图^[5]

2.3 室内试验

微型钻进平台主要用于模拟实际钻进过程,实现给进和回转的无级调速,能够实时对钻进参数进行监测,并且系统可以在相同的钻进参数条件下,对同一种岩样进行同规程钻进试验^[6]。利用微型钻进系统对仿生钻头进行钻进试验。试验的目的是优化最佳的仿生单元排布方式,因此在实验过程中,要尽量减少人为操作的误差以及钻进参数对实验效果的影响。试验所用岩样为普通花岗岩,硬度为7~8级,研磨性中等。微钻给进压力6~7 MPa,转速450 r/min,冲洗液流量由电磁调速电机控制泥浆泵进行调节,可满足钻进要求。

3 试验结果分析

试验按照仿生单元径向间距(D_R)的不同分3组进行: $D_R = 1.5d$ 、 $D_R = 2.0d$ 和普通的金刚石钻头。每个钻头钻进4个孔,并对钻完的钻头测量其磨损量。试验数据见表1和表2(表中“钻进深度”是4次钻进深度的累加值;“纯钻进时间”是4次纯钻进时间的累加值)。

由图5和图6可知,仿生钻头在钻进速度方面都比普通钻头好,在钻头寿命方面只有仿生1号钻头的磨损比普通钻头严重,主要是仿生单元布置太密,间距太小,导致钻头强度大幅度降低,磨损增强。仿生6号钻头的速度偏低主要是仿生单元布置间距太大,非光滑特性没有充分体现出来。因此,仿生单元的布置间距要有一个合理的值。

从整体上看,随着仿生单元周向排布距离的增

表 1 第一组实验数据 ($D_R = 1.5d$)

钻头序号	钻进深度 /cm	钻进时间 /min	平均钻速 $\text{/(cm} \cdot \text{min}^{-1}\text{)}$	单位进尺磨损量 $\text{/(mm} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$
1	148.8	30.35	4.91	0.21
2	149.1	32.70	4.56	0.13
3	149.2	28.33	5.27	0.11
4	148.3	28.20	5.26	0.09
5	149.6	29.05	5.16	0.08
6	147.9	32.83	4.51	0.12
13	145.0	32.77	4.42	0.18

注:13号是普通孕镶金刚石钻头,其余是仿生钻头。

表 2 第二组试验数据 ($D_R = 2.0d$)

钻头序号	钻进深度 /cm	钻进时间 /min	平均钻速 $\text{/(cm} \cdot \text{min}^{-1}\text{)}$	单位进尺磨损量 $\text{/(mm} \cdot \text{m}^{-1}\text{)}$
7	146.9	29.27	5.02	0.20
8	149.6	32.23	4.65	0.15
9	151.0	31.77	4.75	0.13
10	151.9	30.23	5.03	0.11
11	152.5	30.27	5.07	0.08
12	150.4	32.45	4.64	0.09
13	145.0	32.82	4.42	0.18

注:13号是普通孕镶金刚石钻头,其余是仿生钻头。

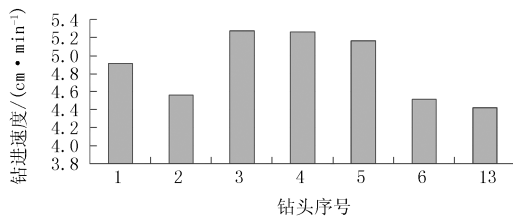


图 5 第一组钻进速度对比图

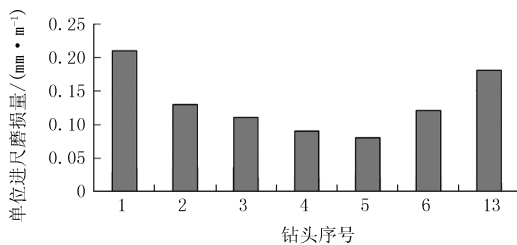


图 6 第一组单位进尺磨损量对比图

大,仿生钻头的钻进速度和寿命均具有先增大后减小的趋势,但具有最高钻进速度的仿生钻头并非寿命最长的。图中显示出,钻进速度最高的是3号仿生钻头,而5号仿生钻头单位进尺磨损量最小,拥有最长的寿命。4号仿生的钻进速度和使用寿命虽不是极值,也相差不多。因此综合以上分析,可以得出具有最优的钻头速度和寿命组合的仿生排列应是4号钻头,钻速和寿命比普通钻头分别提高16%和100%。

由图7和图8可知,钻进速度最高的是11号仿生钻头,但与10号差别不大。寿命最长的也是11号仿生钻头,钻速和寿命比普通钻头提高15%和

125%。这就解决了寿命与效率不可兼得的难题^[7]。从整体上看,规律和第一组差不多,钻进速度和使用寿命都随着仿生单元周向距离的增大,有先增大后减小的趋势。

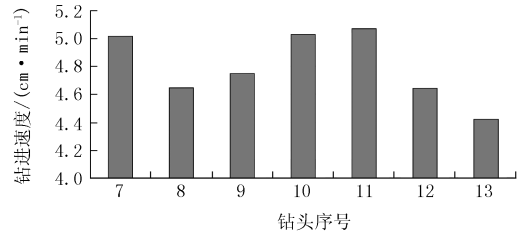


图 7 第二组钻进速度对比图

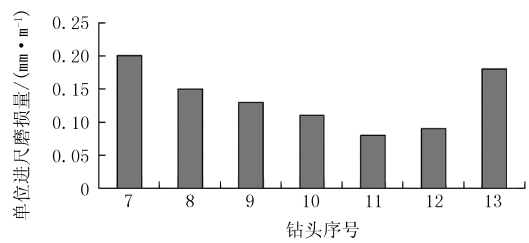


图 8 第二组单位进尺磨损量对比图

4 结论

在仿生单元圆周排布的基础上,加工一系列小口径仿生耦合钻头,并进行实钻实验,经对实验结果进行分析,可得出以下结论:

(1) 仿生单元的排布要有一个合理的范围,排布的仿生单元过多或者过少,均不利于提高仿生耦合钻头的钻进效率和使用寿命;

(2) 径向距离为 $1.5d$ 、周向距离为 $3.0d$ 和径向距离为 $2.0d$ 、周向距离为 $3.5d$ 两种排布方式更能体现仿生耦合钻头高效率、长寿命的优点,相对普通钻头,其钻速和单位进尺磨损量分别提高16%、100%和15%、125%。

参考文献:

- [1] 李世忠. 钻探工艺学[M]. 北京:地质出版社,1992.
- [2] 孙友宏,徐良,赵乐涛,等. JBD-75 仿生非光滑绳索取心金刚石钻头的研制[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2007,34(S1):291-294.
- [3] 任露泉,杨卓娟,韩志武. 生物非光滑耐磨表面仿生应用研究展望[J]. 农业机械学报,2005,36(7):144-147.
- [4] 王传留. 仿生耦合金刚石钻头耐磨机理研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2011.
- [5] 高科. 孕镶金刚石仿生钻头的研究[D]. 吉林长春:吉林大学,2006.
- [6] 张楠. WZP-500 型微钻平台系统开发研制报告[Z]. 2009.
- [7] 徐良,孙友宏,高科. 仿生孕镶金刚石钻头高效碎岩机理[J]. 吉林大学学报(地球科学版),2008,6(38):1015-1018.