

基于 AutoLisp 的仿生金刚石钻头 计算机设计软件系统研究

李睿, 孙友宏, 高科

(吉林大学建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 通过计算机辅助设计语言 AutoLisp 实现仿生钻头的参数化设计。软件系统将仿生钻头设计者输入的参数, 通过专家系统分析与计算, 完成仿生钻头非光滑分布图设计、钻头水口设计和钢体设计。在仿生钻头绘制函数中提供了多种图元绘制方法, 可以根据设计者的选择, 实现不同方法的钻头结构图输出, 加强了软件效率和兼容性。

关键词: 仿生钻头、AutoLisp、随机函数、水口设计、图元创建

中图分类号: P634.4⁺1

文献标识码: A

文章编号: 1672-7428 (2009) S1-0382-05

Bionic bits computer design software system basic on AutoLisp

LI Rui, SUN You-hong, GAO Ke

(College of construction Engineering, Jilin University, Changchun Jinlin 130026, China)

Abstract: Autolisp, a computer aid design language, is applied to realize the parametric design of bionic bit. The design of bit distribution, waterways and steel body will be finished through the analysis and calculations of parameters by the expert system in computer. There are different graphic element drawing methods provided in the graphics function, so different forms of bit structure figures can be put out to meet the needs of designers, increasing the efficiency and compatibility of the software.

Key words: bionic bit; autoLisp; random function; waterway design; graphic element create

随着国民经济的发展, 矿产资源供需问题日益严峻, 矿产资源的开发难度也加大, 钻孔深度加大、钻进地层更加复杂, 硬岩、强研磨性地层出现频繁。针对硬岩钻进, 常规的牙轮钻头、PDC 钻头、表镶金刚石钻头和孕镶金刚石钻头往往出现钻速慢、寿命短、效率低难题。为改善这种情况, 最大限度发挥钻头作用, 加快钻进速度及效率, 课题组将仿生耦合理论与孕镶金刚石钻头设计相结合, 把生物非光滑表面的耐磨、减阻等特性赋予钻头^[1,2], 研究出一种新型的仿生孕镶金刚石钻头 (简称仿生钻头), 经室内实验和野外生产实验表

明, 钻头的效率和寿命都得到了很大的提高。

钻探时, 为了最大限度地提高钻头效率和使用寿命, 必须根据不同岩性和地质情况的地层选择合适的钻头胎体硬度、金刚石参数和仿生非光滑度。在实际工作中, 相似地层同样需要钻头设计者根据地层选择钻头设计参数, 设计工作重复性严重, 浪费了大量人力物力, 而且容易由于设计者主观原因产生技术性差异。而且, 随着仿生钻头研究的加深, 仿生钻头类型增多、应用方向增加, 对仿生钻头的设计提出了更高的要求。为了解决这一问题, 本文通过计算机辅助设计语言 Autolisp 把钻探专家

收稿日期: 2009-08-30

基金项目: 国家高技术研究发展计划 (863 计划) “硬岩钻进用仿生金刚石复合钻头及钻进技术” (编号: 2006AA06Z221);

吉林省科技发展计划项目 “油气钻井用高效耐磨仿生钻头研究” (编号: 20080350);

作者简介: 李睿 (1983-), 男 (满族), 吉林大学建设工程学院, 地质工程专业, 博士, 主要从事地热数值模拟分析和仿生钻头计算机辅助设计的研究, 吉林省长春市西民主大街 6 号吉林大学建设工程学院, lirui_07@mails.jlu.edu.cn.

们在地质岩心钻探和岩土钻凿工程施工中不断实践中积累的丰富的钻头设计和使用经验进行总结后存放于后台数据库中。将地层岩石特性和井身结构等相关参数输入到计算机,软件会自动对比数据库内容自动画出钻头结构及模具图、给出钻头相关参数,实现钻头设计自动化,既节省大量时间和精力又保证了设计精确。

1 仿生钻头设计软件总体结构

在对仿生钻头设计参数计算研究的基础上,开发仿生钻头常用的参数计算程序库。以 AutoCAD 内嵌的 AutoLisp 语言编程,利用其与 AutoCAD 优秀的兼容性,让用户在由对话控制语言 (DCL) 创建的界面中输入参数,根据用户输入的参数,调用相应的计算模块,使用选用的图元创建函数绘制钻头设计图。软件的设计包括钢体设计、仿生非光滑形态分布设计、水路设计,最后提交钻头的钻进报告和仿生钻头结构图。图 1 为仿生钻头设计软件流程图。

2 仿生钻头设计软件系统

2.1 参数输入窗口设计

钻头的参数输入主要包括地层岩石特性、推荐钻进工艺参数和钻头参数三项,岩石特性包括地层岩石研磨性、压入硬度、可钻性等,钻进工艺参数包括钻压、转速、泵量等,钻头参数包括钻头内外

径、金刚石参数、非光滑度等。这些数据均在 DCL 创建的界面中完成输入,供后续参数计算模块调用。图 2 为参数输入窗口界面示意图。



图 2 参数输入界面示意图

2.2 专家系统分析与计算

用户完成输入参数后,专家系统根据输入的参数,将一部分地层岩石参数和钻进工艺参数同后台的数据库进行对比,生成钻进报告,指导实际钻进工作。同时,专家系统将另一部分参数传送给各个参数计算模块,计算后将最终的钻头参数传递给图元创建函数,选择用户指定的方法绘制设计图。

专家系统将参数传递给参数计算模块后,要进行钻头加工图的绘制工作。

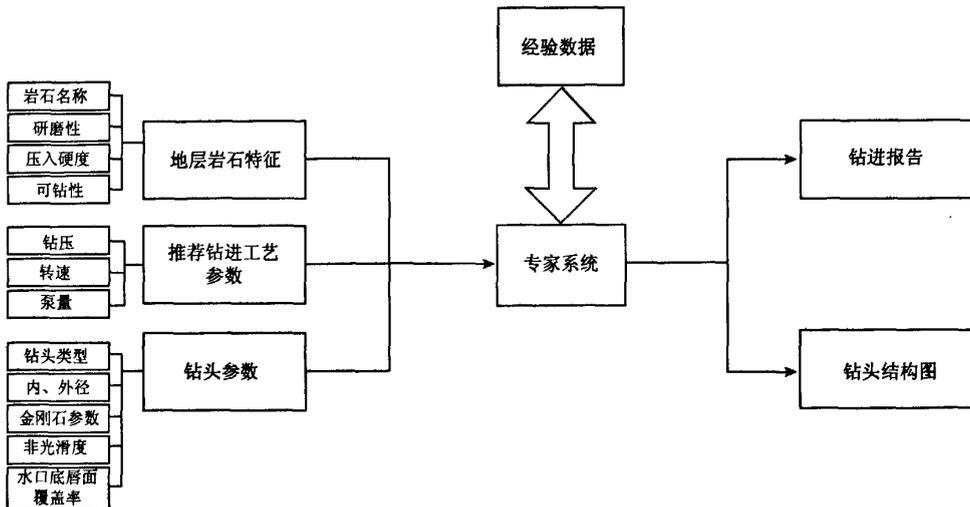


图 1 仿生钻头设计软件流程图

2.2.1 仿生钻头非光滑形态优化设计

仿生非光滑度是仿生钻头的重要参数,是指所有非光滑形态在钻头底唇面上的投影面积之和占整个底唇面面积的比例。由定义可知,已知非光滑的总面积和非光滑度时,可以确定仿生非光滑形态的数量。然而,非光滑的排列方式不同,可使钻头在岩石作用面上的应力和摩擦力发生变化,从而影响仿生非光滑形态对岩石的作用效果。因此,除了分析含有非光滑形态的仿生钻头与普通钻头对岩石作用力的变化从而进行非光滑度的优化外,还根据非光滑形态和不同排列方式对岩石作用力的变化进行优化。

仿生非光滑形态的优化,首先建立能够分析自然界中生物体表非光滑形态的数学抽象和简化方法。自然界中非光滑表面通常具有非线性特点,使用计算机按照一定的规则均布模拟并不能与实际吻合。因此,需要在一定区域内均匀分布一定数量的非光滑形态,利用计算机生成随机数列,来模拟自然形态的均布情况。而随机函数产生的随机数列是一种在规定范围内生成一系列相互独立,出现次数几率相同的一组数列,与普通的按照分析区域以一定的规则产生的数列不同,随机函数产生的随机数列理论上没有规律,无法由分析区域而推断每一个点所在的位置^[3]。每一次运行随机函数,所产生的数列都不相同,但是每组生成的数列又基本上均

匀的排列在规定区域内。这种非光滑形态的排布方式也是最接近自然界中生物体表非光滑形态的宏观分布方式。

2.2.2 仿生钻头非光滑分布图绘制研究

利用计算机模拟二维均匀分布,首先选择圆形区域作为模拟分布区域,其优点更加接近钻头的底唇面形状。然后建立坐标,利用随机函数生成非光滑坐标的方法有两种:一是使用平面直角坐标系,随机生成 X 坐标和 Y 坐标,再将这样的点映射在规定的区域;二是使用平面直角坐标系随机生成点的极径 ρ 和极角 θ ,再映射在规定的区域。最后借助计算机中的随机函数来生成随机数列。然而,以 Matlab 工具为例,利用高级语言自身的随机函数所产生的函数会存在分布不均匀的情况。

图 3 (A)、(B) 中显示的是两种直接利用随机算法生成点坐标的方法的最后计算结果,从图中可以看到点的分布有明显的差别。由直角坐标系随机产生的点沿 X、Y 轴有明显的集中,接近坐标轴的区域点排布的非常紧密,随着远离坐标轴点的排布也越来越稀疏;而由极坐标随机产生的点在原点附近有明显的集中,接近原点的区域点排布的非常紧密,随着远离原点,点的排布越来越稀疏。造成这种情况的原因有两个:一是虽然常用的高级计算机语言都提供了产生 $[0, 1]$ 区间内连续均匀独立随机数的函数,但是这些函数所采用的算法,

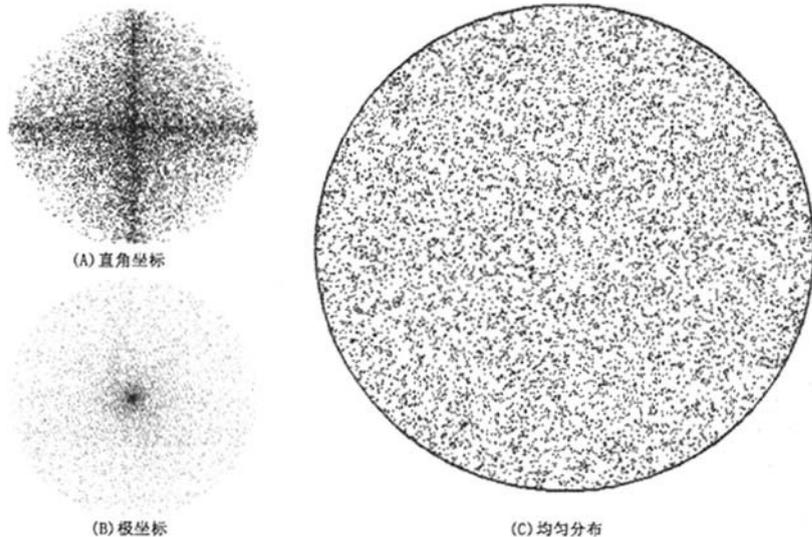


图 3 随机数列输出点分布图

都存在一定的缺陷。这样的缺陷造成了随机函数本身分布就不均匀的;二是虽然由随机函数生成的角度和坐标轴都服从均匀分布,但是并不能保证他们的乘积也服从均匀分布,这就造成了生成点在坐标轴和原点周围的集中。

要解决这些问题,就要采取新的随机数生成法^[4]。从上面两种随机函数生成结果来看,随机数列的独立性很好,但是两个独立变量的乘积出现了集中情况。为了解决这样的问题,不再将两个独立性很好的数列结果相乘,而是先在一个能够“包含”整个圆形的矩形区域内产生二维均匀分布随机数,然后判断这个随机数是否存在于圆形区域,如果存在就将这个点输出,如果在区域外则不输出这个点(图4)。这样就避免了将两个独立序列相乘,消除了点的集中。利用这样的随机函数产生的随机序列见图3(C),从图上看,随机数列集中的情况已经消除,输出的点基本上均匀的分布在圆形范围内。

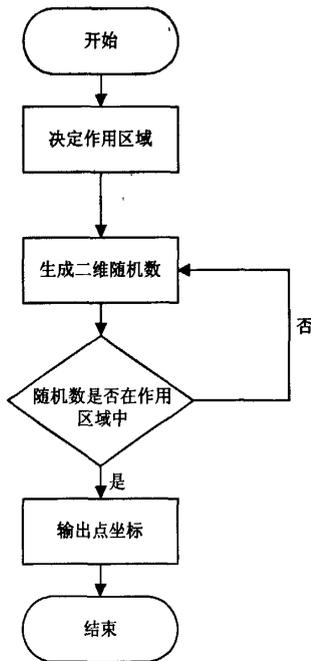


图4 随机序列生成函数

2.2.3 仿生钻头的水力学计算与水口设计

专家系统根据钻孔直径,设计钻头水口,已知参数由专家系统传递给水口参数计算模块,主要用到的已知参数见表1。计算模块中包含钻头水力学相关计算公式:冲洗液环空上返流速(式1)、钻头底唇面过流面积(式2)、岩屑滑落速度(式

3)、环空临界流速(式4)和雷诺数(式5)等^[5]。

(1) 冲洗液环空返速:

$$v_1 = \frac{1273Q}{d_1^2 - d_3^2} \quad (1)$$

(2) 钻头底唇面过流面积:

$$S_T = \frac{\pi}{4} \times \frac{(d_1^2 - d_2^2)V_1}{V_2} \quad (2)$$

其中 V_2 取经验值 $4 \sim 8\text{m/s}$, 最后算出每个水口过水面积 $N = \frac{S_T}{f}$ 。

(3) 岩屑滑落速度:

$$v_s = \frac{0.071d_{rc}(\rho_{rc} - \rho_d)^{0.667}}{(\rho_d \times \mu_f)^{0.333}} \quad (3)$$

式中: v_s ——岩屑滑落速度, m/s ; d_{rc} ——岩屑直径, mm^2 ; ρ_{rc} ——岩屑密度, g/cm^3 ; μ_f ——, mPas 。

(4) 环空临界流速:

$$C_{cr} = 0.00508 \times \left(\frac{20626n^{0.387} \times K \times 2.54^n d_{rc}}{\rho_d \times (d_1 - d_3)^n} \right) \quad (4)$$

式中: C_{cr} ——环空临界流速, m/s ; n ——流型指数; K ——稠度系数, Pas^n 。

(5) 雷诺数:

$$R_e = \frac{9800 \times (d_1 \times d_3) \times V_a^n \times \rho_d}{\tau_y \times (d_1 - d_3) + 12 \times V_a \times \mu_{pv}}$$

式中: τ_y ——屈服值(动切力), Pa ; μ_{pv} ——塑性粘度, mPas 。

若 $R_e < 2100$, 为层流, 反之为紊流。

表1 水口设计参数

变量	变量名
钻头外径	d_1
钻头内径	d_2
钻杆外径	d_3
冲洗液量	Q
水口数量	f

通过一系列的计算公式计算出仿生钻头水口过水面积,然后根据钻头内外径得出钻头水口的具体尺寸数据,将数据传送给钻头绘制函数,由钻头绘制函数进行加工图绘制出钻头整体结构图。

2.2.4 仿生钻头绘制函数生成钻头结构图

钻头绘制函数是绘制最终钻头加工图的函数,通过钻头参数的输入和参数计算函数的运算,钻头绘制所需要全部数据都已经得到,但是在生成加工图之前,软件还加入了选择图元创建方法的选择,这种选择加强了软件的效率和兼容性。

AutoLisp 程序提供了三种绘制图元的方法:

- ActiveX 函数
- Entmake 函数
- Command 函数

钻头设计软件特别加入了 ActiveX 函数这种 VLISP 中最新的创建图元方法,相比其他函数,ActiveX 函数生成图元的速度更快,代码可读性更好。在钻头设计软件中,当非光滑形态数量大的时候,ActiveX 函数速度快的优势发挥的非常明显,可以极大的提高钻头设计软件的运行速度。在引入 ActiveX 的同时,软件还保留了 entmake 函数和 Command 函数。其中 entmake 函数在搜集钻头参数计算函数创建的关联表后请求 AutoCAD 创建图元,适应性也是所有函数中最强的。而 Command 函数最最早的出现在 AutoCAD 中的图元创建函数,这种发放虽然可靠性很高,但是速度非常慢。钻头设计软件中同时提供了这三种图元创建方法,让软件使用者可以根据自己的需要,选择适当的方法生成仿生钻头设计图。

3 结论

为了加速仿生钻头的设计效率,更好的分析和改进仿生钻头,为后期的室内外实验提供更好的方案,编写了仿生钻头设计软件。

在仿生钻头实验的基础上,软件对钻头仿生形态分布和水口设计进行了分析研究。

软件实现了仿生形态分布、水路设计和钻头加工图的二维参数设计,并且加入了专家系统和经验数据比对,提供钻进报告和钻头设计图的输出。

软件提供了多种图元创建方法,加强了软件的效率和兼容性。让设计者根据自己的要求选择图元创建方法,提高了设计效率。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 高科.孕镶金刚石仿生钻头的研究[D].长春:吉林大学建设工程学院,2006.
- [3] 萧树铁,等.随机数学.北京:清华大学出版社,2000.
- [4] 张传林,林立东.伪随机数发生器及其应用[J].北京:数值计算与计算机应用,2002,23(3):188-208.
- [5] 赵全洲,张桂林,主编.钻井工程技术手册[M].北京:中国石化出版社.