

凸包型仿生耦合金刚石钻头模拟分析

王建强^{1,2}, 李国民^{1,2}, 汤小仁³, 简崇林¹

(1. 中国地质大学(北京)工程技术学院, 北京 100083; 2. 中国地质大学(北京)科学钻探国家专业实验室, 北京 100083; 3. 中国地质科学院勘探技术研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要:研究发现仿生耦合钻头较普通钻头钻进时效提高很多。仿生耦合钻头一方面能使钻头唇面有较高的比压;另一方面能使钻头具有很好的冷却效果,因此在钻探工程中有很好的应用前景。应用数值模拟软件 ansys,模拟分析了凸包型非光滑表面对金刚石钻头性能的影响。对比分析了 4 种不同非光滑度状况下,钻头在一定的钻压作用下在岩石表面产生滑动摩擦的过程。主要分析了该过程中岩层的等效应力、钻头底唇面的接触摩擦应力和接触压力的变化规律。研究发现,凸包型非光滑表面在一定程度上可以提高钻头的使用寿命和钻进效率。

关键词:仿生学;非光滑;凸包;金刚石钻头;模拟分析

中图分类号: P634.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-7428(2012)01-0077-03

Simulation Analysis on Bionic Coupling Diamond Bit with Convex Domes/WANG Jian-qiang^{1,2}, LI Guo-min^{1,2}, TANG Xiao-ren³, JIAN Chong-lin¹ (1. School of Engineering and Technology, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. National Lab on Scientific Drilling, China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 3. The Institute of Exploration Techniques, CAGS, Langfang Hebei 065000, China)

Abstract: It was found that bionic coupling bits have higher drilling efficiency than ordinary drill bits by study. On the one hand, bionic coupling bits with higher pressure on the bottom lip surface; on the other hand, it improves the cooling condition. So it has a good prospect in drilling engineering. In this paper, the numerical simulation software ansys was used to analyze the impact of the convex and non-smooth surface on the performance of diamond bit. Comparison was made on the process of drill bits sliding friction on the rock surface with certain pressure under 4 different non-smoothness conditions. Analysis was made mainly on the variation of rock's equivalent stress, contact friction stress and contact pressure on the bottom lip surface of bit. The convex and non-smooth surface can increase the service life and drilling efficiency of drill bit.

Key words: bionics; non-smooth; convex dome; diamond bit; simulation analysis

0 引言

随着人类社会经济的快速发展,能源尤其是油气资源供需问题日益严峻。勘探开发逐渐向深层拓展,所钻地层越来越复杂,常规的钻头在钻进该类地层常表现出寿命短,钻进效率低,很难达到要求。因此急需设计一种适应该类地层的钻头,仿生金刚石钻头便由此产生。它将仿生学中的非光滑理论应用到钻头设计上。仿生学是生物科学与技术科学有机结合而产生的一门重要的新兴边缘性学科,仿生技术被认为是原始科技创新的不竭动力和源泉,是发展高新技术的重要手段^[1]。研究发现生物非光滑表面不仅具有良好的减少粘附、降低阻力的功能,而且具有非常高的耐磨性能和再生功能^[2]。并且这些特性随着非光滑表面特征的不同而不同,其中耐磨性按照凹坑、凸包、波纹、鳞片形态递减^[3]。因

此仿造生物体表的特性,将仿生非光滑理论应用到钻头的设计上,来解决钻头的寿命短、钻进效率低以及钻头泥包等钻进难题,将是一种新的尝试。

目前有不少学者在此方面作了大量的研究。如高科^[4,5]系统地分析了非光滑表面减阻、防粘和耐磨的特性,并研制出仿生金刚石钻头。试验结果表明,仿生钻头较普通钻头钻速提高 44%、使用寿命增加 74%。发现非光滑度及非光滑表面材料性能与所钻地层是否相适应对非光滑表面耐磨性能能否发挥有很大的影响。徐良^[6]研制出新型的仿生孕镶金刚石钻头,大大地提高了钻进时效,并分析了仿生孕镶金刚石钻头碎岩机理,得出仿生非光滑表面一方面使得钻头唇面的比压增加,有利于钻头的锐化,从而提高了时效;另一方面非光滑表面改善了钻头和岩石的冷却条件。王再宙^[7]运用激光处理技

收稿日期:2011-09-13; 修回日期:2011-11-29

作者简介:王建强(1985-),男(汉族),陕西延安人,中国地质大学(北京)硕士研究生在读,地质工程专业,从事地质工程数值模拟及非开挖技术的学习和研究,北京市海淀区学院路 29 号中国地质大学工程技术学院 S09, wangjianqiang555@163.com。

术,生成凸包型非光滑表面,采用试验优化技术中的均匀设计方法进行了影响凸包型非光滑表面耐磨性的多因素复杂试验分析,发现速度、负荷、时间和凸包圆周方向的距离对耐磨性有显著影响,凸包轴向上的距离对耐磨性影响不大。然而该领域尚处于起步阶段,还有许多问题亟待解决,如非光滑结构各个参数对钻头性能的影响以及不同形式的非光滑表面对钻头性能影响的机理等。

本文用数值模拟软件模拟分析了在常规的金刚石钻头设计中加入凸包型非光滑表面对钻头性能的影响。分析发现,凸包型仿生非光滑结构应用到钻头的设计中能够提高钻头的碎岩效率和使用寿命。本文的结论可以为钻头的设计提供理论依据。

1 数值模拟有限元模型

1.1 计算模型的简化

考虑到计算时间的因素,本文取钻头底唇面上某一区域为模拟对象,区域尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$,取一 $40\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的矩形块代表所模拟的花岗岩地层。钻头在一定钻压下在矩形块表面产生滑动摩擦。本次模拟选择固定的凸包半径为 1 mm ,采用均匀排列的方式,分析不同凸包个数条件下,仿生耦合表面形态对钻头性能的影响,目的是为了获得最优的非光滑度。非光滑度可以定义为所有凸包在底面上的投影面积之和占整个底面积的比例。本文选择固定的凸包半径(1 mm),那么非

光滑度就只与凸包的个数有关,建立的凸包型仿生耦合表面形态模型参数如表1所示。

表1 凸包型仿生耦合表面形态模型参数

模型编号	非光滑度/%	凸包个数
a	6	2
b	9	3
c	13	4
d	16	5

1.2 材料模型

钻头材料取钨钴合金材料,地层取花岗岩地层,具体参数^[8]如表2所示。

表2 模拟钻头和地层参数

材料	弹性模量/Pa	泊松比	密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	摩擦系数
钨钴合金	2.0×10^{11}	0.30	12362	
花岗岩	4.55×10^{10}	0.26	2700	0.2

1.3 接触算法及网格划分

本文采用面与面的接触算法,选取大矩形块的上表面为目标面,小矩形块的底面为接触面,并采用 SOLID45 和 SOLID65 两种实体单元以及 TARGE170 目标单元和 CONTA174 接触单元。为了提高收敛性,设置接触刚度为 1.0,选取 NEWTON - RAPHSON 平衡迭代选项,并打开非线性大变形效应和自动时间来帮助收敛。网格划分采用四面体自由网格划分,出于对计算精度的考虑,凸包处采用加密网格划分。图1为非光滑度为 16% 的网格划分图。

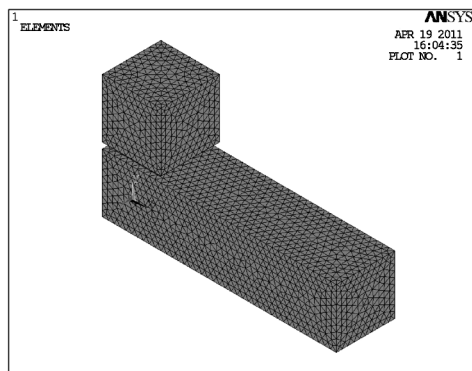
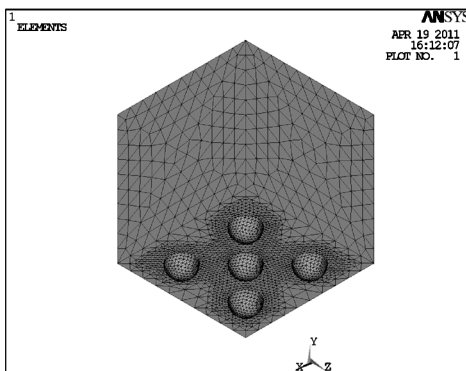


图1 计算模型网格划分

2 仿真结果与分析

在钻进过程中影响钻头碎岩效率和钻头使用寿命的因素有等效应力、接触压力和接触摩擦应力。等效应力和接触压力可以判断钻头碎岩效率;接触摩擦应力可以判断钻头的耐磨性。本文通过模拟,对比分析了4种不同非光滑度状况下,这些因素的

变化规律,以及对钻头性能的影响,得出以下结论。

2.1 岩层的等效力分析

在钻进过程中钻头的底面形状对钻进效率有很大的影响,关于不同形状压头侵入岩石时的单位体积破碎功问题,许多学者进行过研究,得到了基本一致的结论:平端压头比尖锐的压头单位体积破碎功小,刃顶钝的压头比刃顶锐的压头单位体积破碎功

小。本文采用半球型凸包模拟钻头在孔底碎岩情况,模拟结果发现,随着非光滑度的增加,岩层所受的等效力在减小,而岩层所受等效力作用面积在增大。从岩石的等效力云图(图 2)可以明显地看出,整个岩层在钻头的作用下可以分为以下 3 个区域:破损区、损伤区和无损伤区。随着非光滑度的增加,破损区和损伤区的面积在扩大,当非光滑度达到 16% 时,损伤区基本上联通,利于岩石的破碎;且随着非光滑度的增加,在岩石内部也出现了应力的

变化,并且随着非光滑度的增加,应力变化区域在不断扩大,这样在钻头的循环摩擦碎岩的作用下,会使岩石内部出现疲劳损伤,在一定程度上可以降低岩石的强度,利于钻头碎岩。但也可以看出不能一味地增加非光滑度,当非光滑度达到一定值时,钻头与岩层接触面都进入损伤区并且会出现重叠,这会造成重复碎岩,增大能量消耗,降低钻进时效;同时当非光滑度过大时,会使岩石所受的等效力降低,以至低于岩石的抗压强度,也是不利破碎岩石的。

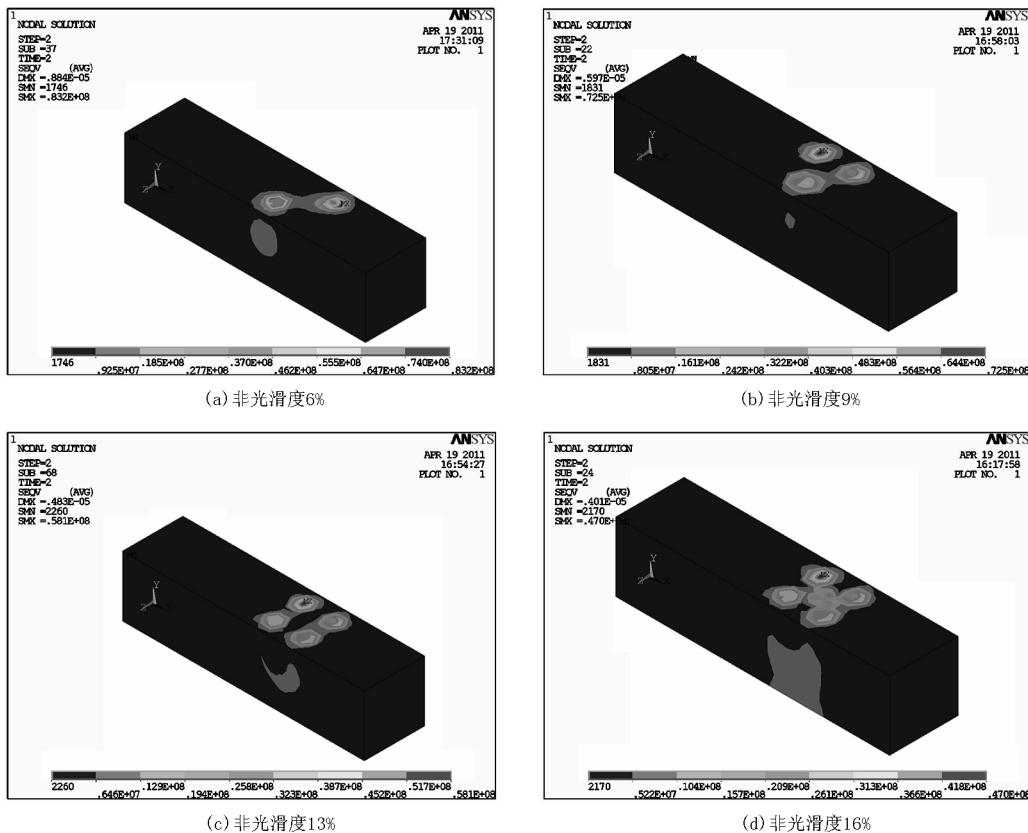


图 2 岩层 Mises 应力云图

2.2 钻头底唇的接触摩擦应力分析

研究发现,对钻头磨损起决定性作用的是摩擦功率,在相同的时间内,决定性因素可以转化成摩擦功。摩擦功越大,对钻头的磨损就越严重;摩擦功越小,钻头的寿命越长^[9]。而对于固定底面积的试块,摩擦功与摩擦力成正比,因此钻头的磨损程度可以由摩擦力来体现。通过曲线图 3 可以看出,在相同非光滑度条件下,钻头底唇接触摩擦应力随时间变化比较小,是一条平滑水平线,这是由于该模拟只考虑了钻头在孔壁平稳摩擦碎岩,没有考虑切削碎岩对钻头产生的震动,对模拟计算精度有一定的影响,但摩擦应力在钻进过程中的总体发展趋势是符合实际的;随着非光滑度的增加,接触摩擦应力在减

小,说明随着非光滑度的增加,钻头的耐磨性在增加,钻头的寿命越长,即提高钻头唇面非光滑度可以提高钻头的使用寿命。

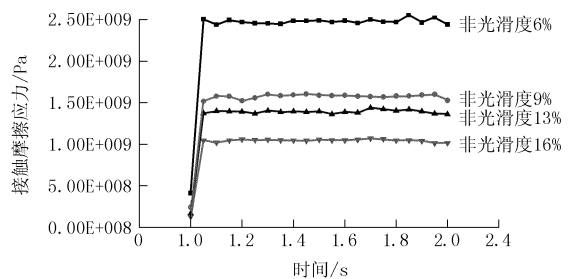


图 3 接触摩擦应力随时间变化曲线图

大型材料生产厂家。对进场的原材料首先施工单位自检,监理单位平行检测,建设单位委托的第三方检测单位进行抽检,市交通质检站定期进行抽查,从根本上保证了原材料的质量。本工程自建搅拌站,自己采购材料,实行砼自拌自用,保证了砼的质量。

(3) 重视科研项目开发,严格管片各种试验。

管片设计阶段,中铁第四设计院与西南交通大学科研机构合作完成了管片抗破坏试验,在取得可靠数据的基础上,再进行优化设计,从而保证了管片设计寿命和工程安全。

管片试生产阶段完成三环拼装试验后,组织国内隧道和混凝土结构知名专家组成专家组,对管片试生产系统进行技术评审,为工程保驾护航。

定期按规定每生产 200 环进行水平拼装检验;每天对成品管片进行精度测定和检漏试验。

(4) 邀请国内知名专家讲课,举办劳动竞赛,提高全员技术水平。

项目部邀请国内知名管片生产和混凝土专家进行技术讲座,举办劳动技术竞赛,提高全员技术水

平,为管片生产质量的提高起到了积极的推动作用。

(5) 严格管理,强化工序验收。

指挥部成立了强有力的项目领导班子,选择具有丰富预制生产经验的北京中铁房山桥梁有限公司进行生产。在生产过程中,强化工序管理验收,在管片预制生产各工序上严格把关,强化工序质量验收,保证了管片的生产质量。

参考文献:

- [1] GB 50446-2008,盾构法隧道施工与验收规范[S].
- [2] 张驰,蔡亚宁.隧道盾构混凝土管片预制与模具[M].北京:中国建筑工业出版社,2010.
- [3] 周文波.盾构法隧道施工技术及应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [4] 李涛.盾构隧道混凝土管片预制工艺及质量控制[J].市政技术,2011,(5).
- [5] 张智博.南京长江隧道大型泥水盾构施工风险分析及对策[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2011,38(6).
- [6] 季玉国.江海盾构隧道施工风险分析与评价[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(6).
- [7] 安政翔,季玉国.大型越江盾构隧道施工安全与风险管理探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2008,35(12).

(上接第 79 页)

2.3 钻头底唇的接触压力分析

接触压力可以衡量钻头碎岩效率,接触压力越大,作用在岩石表面的压力也就越大,当其值大于岩石的抗压强度时,岩石就会产生屈服破坏,形成破碎坑,并在钻头回转扭矩的作用下,被切削掉,从而实现钻进进尺。通过曲线图 4 可以看出,随着非光滑度的增加,钻头底唇的接触压力在减小,这对于破碎岩石是不利的。这主要是由于随着非光滑度的增加,钻头底唇与岩石接触面积增大,使得单位面积上的比压在减小。

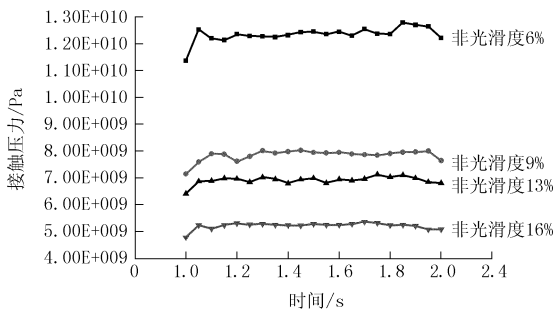


图 4 接触压力随时间变化曲线图

3 结论

利用大型通用数值分析软件 ansys 对凸包型非

光滑表面金刚石钻头在孔底滑动摩擦碎岩的过程进行了数值模拟。从得出的结果分析,非光滑度对钻头的使用寿命和碎岩效率有很大的影响。随着非光滑度的增加,钻头唇面上比压降低,不利用破碎岩石,但可以提高钻头的耐磨性。所以在设计钻头时一定要选择一个最优的非光滑度,在提高钻头耐磨性的同时还能满足高效碎岩的要求。

参考文献:

- [1] D. S. 哈拉西.仿生学[M].北京:科学出版社,1975.
- [2] 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).
- [3] 任露泉,王再宙,韩志武.仿生非光滑表面滑动摩擦磨损试验研究[J].农业机械学报,2003,34(2):86-88.
- [4] 高科,孙友宏,高润峰,等.仿生非光滑理论在钻井工程中的应用与前景[J].石油勘探与开发,2009,36(4):519-522.
- [5] Ke Gao, You-hong Sun, Lu-quan Ren, et al. Design and Analysis of Ternary Coupling Bionic Bits[J]. Journal of Bionic Engineering Suppl, 2008, (5):53-59.
- [6] 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),2008,38(6):1016-1018.
- [7] 王再宙,韩志武,任露泉.激光处理非光滑凸包表面的耐磨性试验[J].吉林大学学报(工学版),2002,32(2):45-47.
- [8] 徐良.硬岩钻进用仿生耦合金刚石取心钻头研究[D].吉林长春:吉林大学,2009.
- [9] A. И. 斯彼瓦克, A. H. 波波夫.钻井岩石破碎学[M].吴光琳,张祖培,译.北京:地质出版社,1983.