

采煤机镐形截齿疲劳寿命分析及优化

陆 辉,王义亮 杨兆建

(太原理工大学 机械工程学院 山西 太原 030024)

摘 要: 为了寻找采煤机镐形截齿合理的安装姿态,并分析和提高镐形截齿的疲劳寿命,以 MG600 采煤机滚筒为研究对象,利用 UG 建立 4 种不同切向安装角度截齿的 MG600 采煤机滚筒,通过 LS-DYNA 对这 4 种采煤机滚筒截割煤壁的过程进行模拟,得出镐形截齿所受的截割阻力图,将所求得的截割阻力数据导入 MATLAB 中求出截割阻力均值,在 UG/NASTRAN 中将此截割阻力均值加载到不同切向安装角度的截齿上并分析其疲劳寿命。研究结果表明,切向安装角度为 45° 镐形截齿的疲劳寿命最长,且不易折断。

关键词: 采煤机; 镐形截齿; 安装角度; 仿真模拟; 疲劳分析

中图分类号: TD421 文献标志码: A 文章编号: 0253-2336(2013)07-0100-03

Analysis and Optimization on Fatigue Life of Pick Cutter for Cutting Drum of Coal Shearer

LU Hui, WANG Yi-liang, YANG Zhao-jian

(School of Mechanical Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

Abstract: In order to seek a rational installed form of the pick cutter for the coal shearer, the fatigue life of the pick cutter was analyzed and improved with the MG600 double drum coal shearer as a study object. The UG was applied to establish the cutting drums of the MG600 coal shearer with 4 different cutting direction angles pick cutters installed. The LS-DYNA was applied to the simulation on the coal cutting wall with four different cutting drums of the coal shearer. The cutting resistance diagrams of the pick cutters were obtained. The cutting resistance data obtained could put into the MATLAB to get the mean value of the cutting resistance. In the UG/NASTRAN, the cutting resistance obtained from the MATLAB could load on the cutters with different cutting direction installed angles and could analyze the fatigue life. The study results showed that the pick cutter with a cutting direction installed angle of 45° would have the longest fatigue life and would not be easy to be broken.

Key words: coal shearer; pick cutter; installed angle; similar simulation; fatigue analysis

0 引 言

现代采掘机械大多采用镐形截齿作为切削工具,截齿破煤是煤炭开采环境中最重要和最基本的过程,因此,通过确定截齿的几何参数和安装姿态来提高工作机构的疲劳寿命和可靠性,从而防止镐形截齿齿身折断。国内外很多学者针对截齿截割过程中所受截割阻力进行模拟分析^[1],对不同叶片形状的采煤机滚筒截齿受力进行分析^[2],对截齿的应力分布进行分析^[3-6],对不同材料截齿所受截割阻力

进行分析^[7],并且针对不同形状截齿^[8]和不同截割速度的截齿进行截割过程的模拟仿真分析^[9],研究结果表明^[10],截割阻力的平均值随截割速度的增加呈先减小后增大的趋势,但并未对截齿的安装姿态和疲劳寿命进行分析。基于此,笔者通过 LS-DYNA/ANSYS 动力学分析程序,建立 4 种不同切向安装角度截齿的 MG600 采煤机滚筒模型,动态仿真截齿的截割煤壁过程,获取不同安装角度下截齿所受到的截割阻力。在 UG/NASTRAN 中将获取的截割阻力加载到对应安装角度的截齿上,分析其疲劳寿

收稿日期: 2012-12-01; 责任编辑: 赵 瑞

基金项目: 山西省科学技术发展计划资助项目(20110321005-04); 山西省科技重大专项资助项目(20111101040)

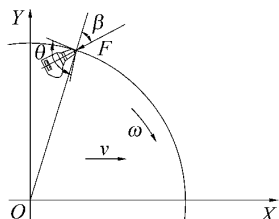
作者简介: 陆 辉(1986—),男,山东青岛人,硕士研究生。通信作者: 王义亮,教授。E-mail: wangyiliangwyl@163.com

引用格式: 陆 辉,王义亮,杨兆建. 采煤机镐形截齿疲劳寿命分析及优化[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(7): 100-102, 106.

命,以期得到最合理的截齿安装角度。

1 叶片截齿布置角度

叶片上镐形截齿的布置角度通常为截齿的切向安装角 β 和截齿的轴向安装角度。 β 为截齿齿尖与螺旋滚筒中心的连线和截齿轴线之间的夹角,镐形截齿沿螺旋滚筒轴向的倾斜角度称为轴向倾斜角度,通常螺旋滚筒叶片上截齿的轴向倾斜角度为零。镐形截齿安装时,应保证截齿上所受合力 F 的方向尽可能在截齿锥体锥角 θ 范围内,如图 1 所示,最理想的情况是 F 与齿身轴线重合,这样截齿所受弯矩小,不宜折断,而且有利于落煤^[11]。



X—滚筒中心线水平方向;Y—滚筒中心线垂直方向;O—滚筒轴心; v —滚筒牵引速度; ω —滚筒转速

图 1 镐形截齿受力分析

2 镐形截齿受力与切向安装角度的关系

镐形截齿破煤截割阻力 Z 可按下式计算^[12]。

$$Z = Ah(0.3 + 350b_p)$$

$$b_p = \frac{2h \sin(\theta/2)}{\cos(\theta/2 + \beta)} \sqrt{\cos \theta + \sin \theta \cot(\beta - \theta/2)}$$

其中: A 为煤岩体的截割阻抗; h 为煤体与截齿的平均接触高度; b_p 为截齿计算宽度; β 取 $35^\circ \sim 50^\circ$,不同切向安装角度 β 截齿受到的截割阻力不同, β 不易确定,所以需模拟安装不同切向安装角度截齿的截割过程,寻找最佳的截齿切向安装角度 β 。

3 采煤机截割煤壁的截割模拟

3.1 前处理过程

采煤机截割煤壁模型包括 MG600 采煤机滚筒和煤壁,在 UG 中建立 4 种不同切向安装角度截齿的 MG600 采煤机滚筒模型,切向安装角度分别为 35° 、 40° 、 45° 、 50° 、 35° 切向安装角度的 MG600 采煤机滚筒模型,如图 2 所示,将此模型导入 ANSYS/LS-DYNA 中进行有限元分析。

3.2 相关参数的设置及仿真分析

1) 煤壁的本构模型。在 ANSYS/LS-DYNA

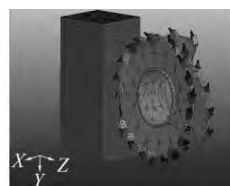


图 2 35° 切向安装角度的 MG600 采煤机滚筒模型
中利用岩石力学和显示动力学理论,建立煤壁模型。选择煤壁材料为 193 号材料模型,含失效的弹塑性材料(MAT_DRUCKER_PRAGER)。煤壁的本构参数如下:密度为 1400 kg/m^3 ,弹性剪切模量为 300 MPa ,泊松比为 0.36 ,破坏面形状参数为 2.8 ,同时对煤壁添加单元应力失效参数 ADD_EROSION,当截齿与煤壁接触时,煤壁单元所受变形应力超过 ADD_EROSION 中所设置的第一主应力极限值 3 MPa 时,煤壁单元便会因所受应力过大而消失。

2) 接触参数设置。在 LS-DYNA 中设置截齿与煤壁接触参数,其中接触刚度对计算结果影响较大,在 CONTROL_CONTACT 中控制 SLSFAC 参数来控制接触刚度,而 LS-DYNA 中定义的接触刚度是定值,因此分析过程需根据仿真结果进行调整使其满足仿真精度。经过反复调试后得出,当接触刚度为 0.01 时截齿与煤壁接触力符合实际情况。

3) 采煤机滚筒运行参数。模拟 MG600 系列采煤机的运行时,滚筒转速 40 r/min ,牵引速度 0.117 m/min ,滚筒相对于煤壁横向运动时间 10 s ^[13]。

4 模拟结果分析

在后处理 LS-PREPOST-3.0 中观察切向安装角度分别为 35° 、 40° 、 45° 、 50° 的采煤机滚筒运行结果, 35° 切向安装角度截齿的 MG600 采煤机滚筒截割煤壁的仿真模拟结果如图 3 所示。同时导出 MG600 采煤机滚筒截割煤壁过程中截齿所受截割阻力,如图 4 所示。

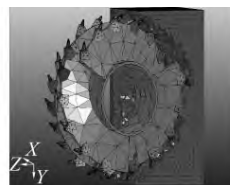


图 3 35° 切向安装角度截齿的 MG600 采煤机滚筒截割煤壁的仿真模拟结果

将所得结果导入 MATLAB 中,利用 MATLAB 编写程序对 4 种不同切向安装角度的截齿截割阻力求解最大值、最小值和平均值,统计结果见表 1。

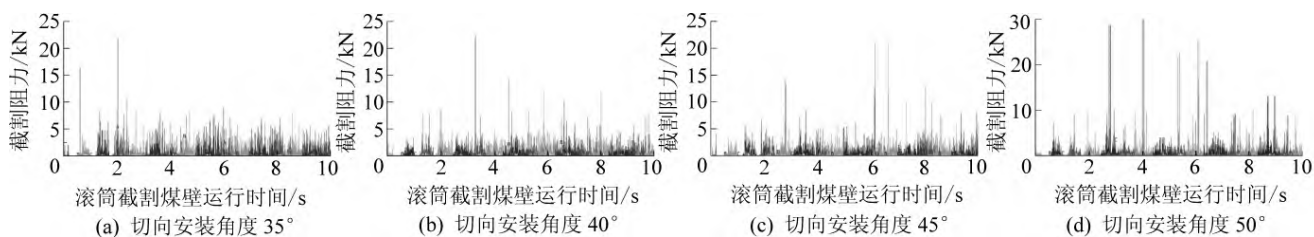


图 4 切向安装角度为 35°、40°、45°、50° 截齿所受截割阻力

表 1 不同切向安装角度截齿所受截割阻力统计值

切向安装角度/(°)	平均值/kN	最大值/kN	最小值/kN
35	1.25	22.2	0.317
40	1.14	22.1	0.187
45	1.12	21.6	0.264
50	1.20	32.1	0.346

5 截齿疲劳分析

齿身折断是截齿失效的一种形式,它主要发生在截齿齿身。截齿截割坚硬岩石或包裹体夹杂物时,由于载荷加大,截齿受到交变应力的反复作用,经过一定的循环次数以后,在应力集中部位出现裂纹,裂纹在一定条件下扩展,最终突然断裂^[14]。采用 UG/NX 高级仿真对零件结构进行疲劳分析。在 UG/NASTRAN 材料库中选择 AISI_STEEL_4340 合金钢来模拟截齿的材料,将 LS-DYNA 中计算求出的截割阻力加载到截齿上,结果如图 5 所示。

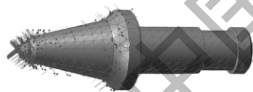


图 5 UG/NASTRAN 中截齿模型

疲劳寿命准则选择 Smith-Watson-Topper 准则,分析其疲劳寿命,分析结果如图 6 所示。由图 6 可知,截齿容易在齿身处出现疲劳折断。通过对截齿在刚开始产生裂纹时疲劳循环的次数进行统计,从而计算出疲劳寿命,最终疲劳寿命采用实际标量结果(出现裂纹之前的疲劳工作循环次数)来表示。对截齿工作面的疲劳寿命分析结果进行统计,切向安装角度为 35°、40°、45°、50° 时,截齿最小疲劳寿命分别为 4.85×10^4 、 5.08×10^4 、 6.40×10^4 和 1.17×10^3 次。

由仿真所得的截齿所受截割阻力(图 4)可知,由于截齿截割煤壁过程中煤壁的崩落效应,所以截齿所受到的截割阻力是随机波动的。由表 1 可知,截割阻力的平均值、最大值和最小值并非随着切向安装角度的增大而单调递增或单调递减,截割阻力

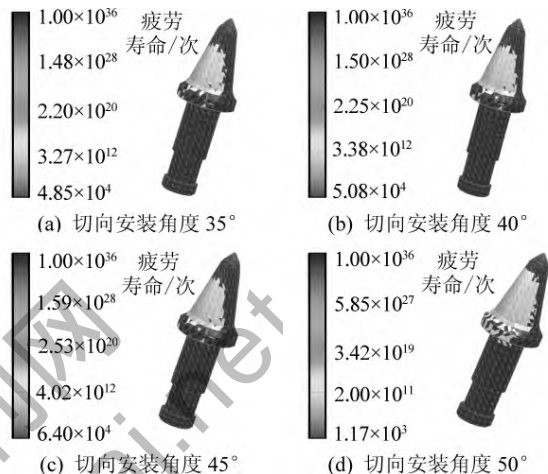


图 6 切向安装角度为 35°、40°、45°、50° 截齿疲劳寿命分布的平均值随着切向安装角度的增加呈现出先减小后增大的趋势。在相同截割条件下,切向安装角度为 45° 的截齿在截割过程中所受到的截割阻力平均值和最大值都小于其他 3 种切向安装角度的截齿,因此切向安装角度为 45° 的截齿安装姿态较其他 3 种安装角度更为合理。通过对截齿加载不同截割阻力,分析其疲劳寿命可知,切向安装角度为 45° 时,最小疲劳寿命最长,所以,相比其他切向安装角度的截齿,切向安装角度为 45° 的截齿更加不易折断。

6 结 语

利用 LS-DYNA 对 35°、40°、45°、50° 四种不同截齿切向安装角度的采煤机滚筒截割煤壁的过程进行模拟,并且通过 MATLAB 得到截割阻力均值,对截齿加载不同截割阻力,分析其疲劳寿命。研究结果表明,切向安装角度为 45° 截齿的疲劳寿命最长,更加不易折断。此研究结果可为截齿安装角度对其强度的影响以及截齿安装姿态的选择提供参考。

参考文献:

- [1] 王洪英. 采煤机镐形齿滚筒载荷的计算机模拟[D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2002: 38-40.

(下转第 106 页)

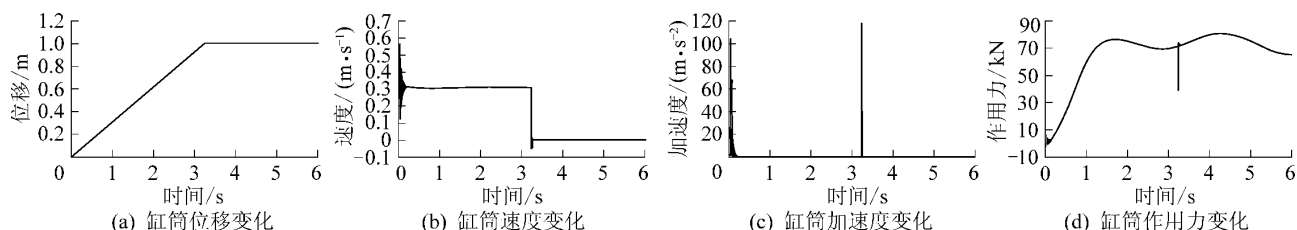


图10 缸筒的位移、速度、加速度和作用力变化曲线

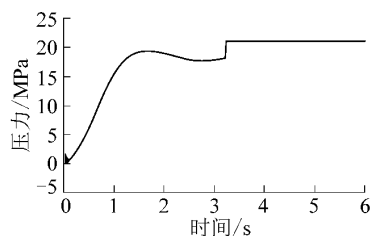


图11 钻机液压系统的压力变化曲线

期就可检验产品的性能,为未来物理样机试验提供参考。ZDY6000LD(A)钻机已在陕西彬长、宁夏煤业、山西焦煤、神华神东等多个国有重点矿区推广应用,并创造了国产装备井下水平定向长钻孔最大主孔深度1 212 m的纪录。

4 结 语

瓦斯抽采钻机主要包括动力系统、液力传动系统、机构执行系统和操控装置4部分。从系统组成出发,建立了瓦斯抽采钻机的虚拟样机集成模型,包含几何CAD模型、虚拟装配模型、强度分析模型、动力学模型和液压特性模型。提出了瓦斯抽采钻机虚拟样机的开发流程,形成了虚拟开发环境,有效支持了钻机产品的开发。以ZDY6000LD(A)定向钻机

为例,进行了虚拟样机开发,对该钻机的稳固特性进行分析,并对定向钻进工况进行液压和多体的动力学仿真,实现了产品原型的设计校验和性能测试。

参考文献:

- [1] 张建国,刘桂芹,刘庆修.煤矿井下坑道钻机数字化设计技术[J].煤田地质与勘探,2012,40(2):89-92.
- [2] 刘静.挖掘机器人虚拟样机建模技术及其应用研究[D].杭州:浙江大学,2005.
- [3] 刘英林.采煤机整体搬运车行走机构的仿真研究[J].煤炭科学技术,2010,38(12):73-76.
- [4] 朱卫波,杨兆建,王义亮.采煤机截割部行星齿轮动力学仿真[J].煤炭科学技术,2010,38(12):80-82.
- [5] 倪文峰,王忠宾,李舒斌,等.基于虚拟机的采煤机远程监控平台关键技术[J].煤炭科学技术,2009,37(2):76-78.
- [6] 赵丽娟,马永志.基于多体动力学的采煤机截割部可靠性研究[J].煤炭学报,2009,34(9):1271-1275.
- [7] 张春芝,孟国营.输送机刮板链立环疲劳寿命预测方法研究[J].煤炭科学技术,2012,40(7):62-65.
- [8] 段雷,杨兆建,李海军,等.矿井提升系统动力学仿真分析[J].煤炭科学技术,2010,38(7):75-77.
- [9] 张建国,刘庆修,田宏亮,等.煤矿井下千米定向钻机液压控制特性分析[J].煤炭学报,2012,37(S1):341-345.
- [10] 姚克,凡东,殷新胜.基于泵控液压技术的ZDY4000L履带钻机液压系统[J].煤炭科学技术,2009,37(3):68-70.
- [11] 794-796.
- [8] 安亚军.基于LS-DYNA的不同形状截齿强度仿真分析[J].矿山机械,2011,39(12):5-8.
- [9] 谢贵君.采煤机镐形截齿截割力模拟[J].煤矿机械,2009,30(3):43-44.
- [10] 姬国强.采煤机镐形截齿截割过程的计算模拟[D].太原:太原理工大学,2008:42-56.
- [11] 刘春生.滚筒式采煤机理论设计基础[M].徐州:中国矿业大学出版社,2003:51-52.
- [12] 刘春生,于信伟,任昌玉.滚筒式采煤机工作机构[M].哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2010:49-50.
- [13] 李锋,刘志毅.现代采掘机械[M].北京:煤炭工业出版社,2010:31-32.
- [14] 尚慧岭.采煤机滚筒截齿失效工况的影响分析及对策[J].煤炭科学技术,2012,40(8):75-78.
- [2] LIU Song-yong, DU Chang-long, CUI Xin-xia. Experiment Research on a New Shearer Drum[J]. Procedia Earth and Planetary Science, 2009(1):1393-1397.
- [3] 白学勇.采煤机截齿冲击动力学性能分析[D].西安:西安科技大学,2010:22-28.
- [4] 汲方林,彭天好,许贤良,等.横轴式掘进机截齿有限元应力分析[J].矿山机械,2005,33(8):19-21.
- [5] 纪玉杰,殷欢星,王平,等.基于LS-DYNA的掘进机截齿有限元分析[J].矿山机械,2011,39(2):33-36.
- [6] 王启佳,孙维,刘中海.采煤机镐形截齿受力分析及结构优化[J].煤矿机械,2012,33(4):91-93.
- [7] LUO Yong, ZHANG De-kun, WANG Qing-liang, et al. Preparation and Properties of a New Cutting Pick of Coal Shearers[J]. Mining Science and Technology (China), 2010, 20(5):

(上接第102页)