

有限元分析在盘式制动器设计中的应用

胡均平¹, 冯敏^{1,2}, 康迎新³, 吴荔丹²

(1. 中南大学机电工程学院, 湖南长沙 410083; 2. 湘煤立达矿山装备股份有限公司, 湖南株洲 412003;
3. 湖南工业大学教务处, 湖南株洲 412007)

摘要: 分析了盘式制动器的结构和工作原理, 针对现有盘式制动器运行可靠性较差、故障率较高的弊病, 运用 SolidWorks 软件对制动器整体结构进行自下而上的建模, 再利用 SolidWorks Simulation 软件对关键零件进行了有限元分析, 从而优化了盘式制动器的结构设计, 有效提高了制动器的安全可靠性能, 使其具有更好的制动性能。

关键词: 提升机; 盘式制动器; SolidWorks Simulation

中图分类号: TD534+.5

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2011)05-0071-03

The Application of the Finite-Element Analysis in the Design of Disk Brake

Hu Junping¹, Feng Min^{1,2}, Kang Yingxin³, Wu Lidan²

(1. School of Mechanical & Electrical Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;
2. Xiangmei Leader Mine Equipment Co., Ltd., Zhuzhou Hunan 412003, China;
3. Teaching affairs Office, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

Abstract: The operational principle and the structure of existing brakes are analyzed. Aiming at its maladies of poor reliability and a high failure rate, SolidWorks software is used for the modeling of integral structure of brakes and SolidWorks Simulation software is applied to make the finite element analysis on the key parts, thus to achieve optimizing the structural design of disc brake and improving its safety and reliability, and to make it better braking performance.

Keywords: hoist; disk brake; SolidWorks Simulation

矿井提升机的安全运行, 在很大程度上取决于制动器的工作可靠性。据统计, 因制动器故障而造成的事故约占整个提升机事故的 60%。制动器的制动力大小、使用维护和制动力矩调整都对它的工作可靠性有较大影响, 因此在设计、生产、使用中都值得引起足够的重视。近年来, 液压盘式制动器在矿井提升机上的使用率逐步提升, 因其具有良好的安全性能而越来越受到广大用户的认可。

1 盘式制动器的结构及工作原理

盘式制动器是由碟形弹簧沿轴向作用产生制动力, 用油压解除制动的一种装置。其特点: 1) 制动力矩具有良好的可调性; 2) 惯性小, 动作灵敏; 3) 安全可靠性能高; 4) 通用性强, 不同的矿井提升机可配用相同型号的盘式制动器; 5) 结构紧凑、调整方便和维修简单。

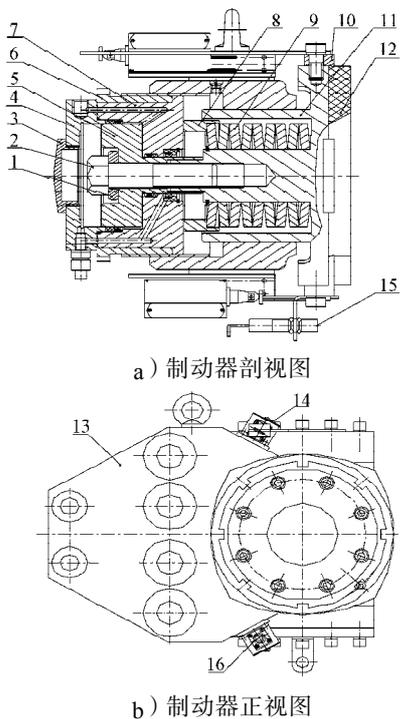
收稿日期: 2011-06-20

作者简介: 胡均平(1965-), 男, 湖南邵阳人, 中南大学教授, 博士生导师, 主要研究方向为液压机械与控制技术,

E-mail: hujunpingok@139.com

通信作者: 冯敏(1981-), 男, 湖南益阳人, 湘煤立达矿山装备股份有限公司机械工程师, 中南大学在读工程硕士, 主要从事矿用机械设计工作, E-mail: frank9908@126.com

盘式制动器的结构如图1所示,由闸瓦、碟形弹簧、油缸等组成。其特点:1)油缸后置,远离制动盘;2)避免油污污染闸瓦和制动盘,降低摩擦系数,继而降低制动力矩。其工作原理:提升机制动时,碟形弹簧9的预压力迫使活塞5向制动盘移动,通过联接螺钉2,将衬板11连同其上的闸瓦12推出,使闸瓦12与卷筒的制动盘接触,并产生正压力,形成摩擦力而产生制动;提升机松闸时,油缸7腔中充入压力油,活塞5再次压缩碟形弹簧9,并通过联接螺钉2带动衬板11向后移动(离开制动盘),从而使闸瓦12离开制动盘,解除制动力(即松闸)。



1—垫圈; 2—联接螺栓; 3—后盖; 5—活塞; 6—调整螺母;
7—油缸; 8—压圈; 9—碟形弹簧; 10—挡块; 11—衬板;
12—闸瓦; 13—制动闸体; 14—闸瓦磨损保护;
15—闸间隙保护; 16—碟簧疲劳。

图1 盘式制动器结构图

Fig. 1 The structure of disk brake

2 主要零件建模及有限元分析

盘式制动器的结构和受力状态比较复杂,强度校核计算很难得到精确的理论解,几个强度计算公式都是建立在较大简化的基础上,误差较大,因此强度校核计算不能很好地反映实际工况下的受力、变形情况,不能很好地指导制动器的开发研制工作。但利用 Solidworks Simulation 软件对关键零部件的静力强度进行分析,可以获得各区域应力分布情况,确定危险部位和过剩部位,能为结构的有限元优化设计提供重要理论依据。

2.1 盘式制动器受力分析

充分了解制动器的受力状况,是准确约束边界和施加载荷并求解的前提。制动器的受力分析^[4]如图2所示,当油腔通入压力油时,产生对活塞的推力 F_1 ,碟形弹簧组被压缩并贮存弹性力 F_2 ,此时盘式制动器处于松闸状态,闸瓦间隙 Δ 为1 mm;当油压 $P=P_{\max}$ 时, $\Delta=\Delta_{\max}$,即全松闸状态。当油压 P 降低,弹性力释放,闸瓦间隙 Δ 为零时,弹簧力 F_2 作用在闸盘上并产生正压力;当油压 $P=0$ 时,正压力 $N=N_{\max}$,在 N 力的作用下闸瓦与闸盘间产生摩擦力,此时制动力最大。

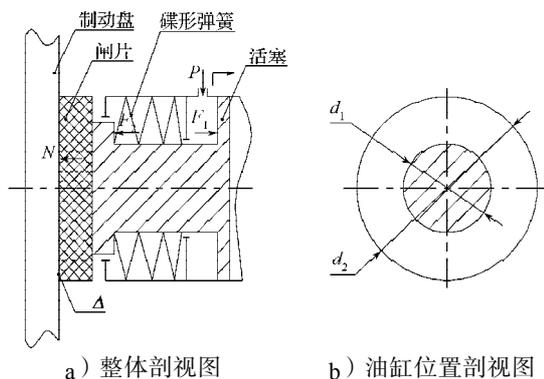


图2 制动器受力分析图

Fig. 2 The force analysis of brake

2.2 制动器三维建模

用 SolidWorks 软件对盘式制动器进行了自下而上的三维建模,首先建立组成制动器的各个零件的三维模型,然后按照实际结构设计和装配要求,在软件里施加各种约束及配合进行整机装配(由于在软件中,各种螺纹连接件不影响整体装配和相关有限元分析,所以均省略),其效果如图3所示。

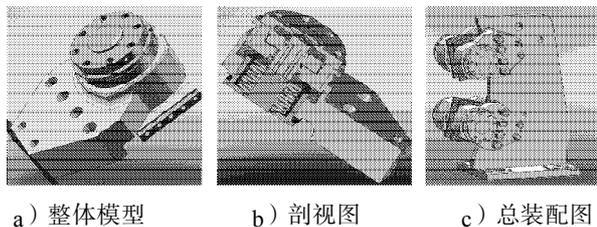


图3 制动器三维模型图

Fig. 3 The 3D model of the brake

2.3 油缸有限元分析

因各部件的有限元分析方法类似,故本文仅以油缸为例进行分析。首先将建立的油缸三维模型直接嵌入 Solidworks Simulation 软件中,然后定义油缸的材质为45钢材料,弹性模量 $E=210$ GPa,泊松比 $\mu=0.26$,屈服强度 σ_s 不小于355 MPa,抗拉强度 σ_b 不小于600 MPa。因油缸底部有压圈支撑,缸体外围有调整螺母约束,所以施加约束时,油缸底部用全约

束,缸壁外围采用“高级夹具”中的“在圆柱面上”进行约束,油缸中最大的油压压力为6.3 MPa,在油缸内壁施加均匀压力载荷。完成了边界条件的设定后,再进行合理的单元网格划分,如图4所示。

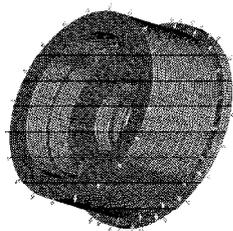


图4 油缸有限元模型
Fig. 4 The finite element model of hydraulic cylinder

3 结果分析

完成了上述油缸的建模,然后用通用解算器求解得到油缸的应力云图及位移图,如图5和图6所示。油缸变形主要是由拉伸引起,制动器进油松闸时,推动活塞运动,此时油缸处于最大应力状态,油缸最大应力位置发生在油缸与活塞配合处。最大应力值为38 MPa,最大位移值为0.002 6 mm。

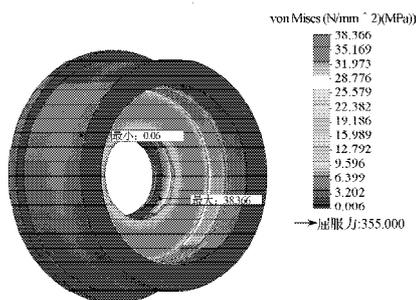


图5 油缸应力云图

Fig. 5 The stress nephogram of hydraulic cylinder

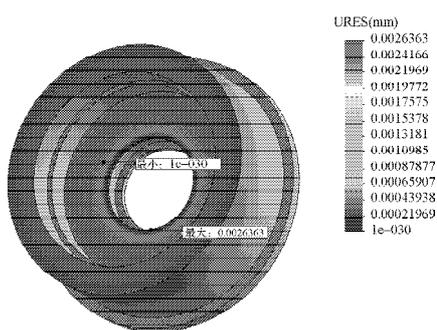


图6 油缸位移图

Fig. 6 The displacement of hydraulic cylinder

有限元分析结果表明:油缸的设计强度满足材料性能,设计结构满足要求,同时可以适当减薄衬板的壁厚,以节省成本。

4 结语

结合三维造型软件 Solidworks 和有限元分析软件

Solidworks Simulation, 构建了盘式制动器的主要零件有限元模型,通过分析主要零件有限元模型的应力和位移情况,发现其薄弱环节和过剩部分,为改善油缸的受力变形,减轻其质量,进一步优化盘式制动器的结构提供了理论依据。利用有限元分析法可提高设计效率、产品质量和安全可靠性,还提高了经济效益。

参考文献:

- [1] 葛世荣, 曲荣廉, 谢维宜. 矿井提升机可靠性技术[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1994: 131-140.
Ge Shirong, Qu Ronglian, Xie Weiyi. Reliability Techniques for Mine Hoist[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1994: 131-140.
- [2] 韦 韦. 盘式制动器的原理与应用[J]. 装备制造技术, 2009(7): 130-131.
Wei Wei. Disc Brake's Principle and Application[J]. Equipment Manufacturing Technology, 2009(7): 130-131.
- [3] Day A J, Newcomb T P. The Dissipation of Frictional Energy from the Interface of an Annular Discbrake[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Transport Engineering, 1984, 198: 201-209.
- [4] 邱冰静, 冯 琪, 李 婷. 矿井提升机用盘式制动器的结构设计[J]. 煤矿机械, 2011(7): 7-9.
Qiu Bingjing, Feng Qi, Li Ting. Structural Design of Disk Brake in Mining Hoist[J]. Coal Mine Machinery, 2011 (7): 7-9.
- [5] 葛云燕, 李新平, 霍族亮. 矿井提升机制动系统存在的问题与改[J]. 煤矿机电, 2007(3): 66-67.
Ge Yunyan, Li Xinping, Huo Zuliang. Problems of Mine Hoist Braking System[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2007(3): 66-67.
- [6] 魏立梅, 包继华, 蔡艳芳. 基于 PLC 的提升机液压盘式制动装置的研究[J]. 机电信息, 2011(9): 49-50.
Wei Limei, Bao Jihua, Cai Yanfang. The Research of the Hoist Hydraulic Brake System Based on PLC[J]. Mechanical and Electrical Information, 2011(9): 49-50.
- [7] 李运超, 吴光强, 盛 云. 盘式制动器制动抖动研究综述[J]. 噪声与振动控制, 2008(5): 6-10.
Li Yunchao, Wu Guangqiang, Sheng Yun. Review of Studies on Disk Brake Judder[J]. Noise and Vibration Control, 2008(5): 6-10.

(责任编辑: 邓 彬)