

# 基于虚拟样机的液压支架运动仿真与分析

刘雨博, 李自强, 白雪

辽宁工程技术大学机械工程学院, 辽宁阜新 123000

**摘要** 运用三维建模软件Pro/E对液压支架进行实体建模,并将其导入多体动力学软件ADAMS中。运用ADAMS软件对液压支架进行动力学仿真,获得了液压支架的动态特性。对液压支架升降过程中四连杆机构运动、顶梁端点的运动轨迹、顶梁位移与顶板力的关系等进行分析,验证了设计的合理性。通过模拟液压支架的整个运动过程,检验了液压支架动力学模型的性能。液压支架虚拟样机的建立可以缩短其设计周期并提高设计质量,有助于液压支架的优化设计。

**关键词** 液压支架;虚拟样机;三维建模;运动仿真

**中图分类号** TD355

**文献标志码** A

**doi** 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.21.006

## Movement Simulation and Analysis of Hydraulic Support Based on Virtual Prototyping Technology

LIU Yubo, LI Ziqiang, BAI Xue

College of Mechanical Engineering, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China

**Abstract** This paper shows the importance of the performance of the hydraulic support and the characteristics of the virtual prototype technology. Using the three-dimensional modeling software Pro/E, the solid modeling of the hydraulic support is made and is imported into the multi-body dynamics software ADAMS. Dynamic simulations with the ADAMS software of the hydraulic support are carried out to obtain the dynamic characteristics of the hydraulic support. The movement of the four bar linkage and the track of the top beam end and the relationship between the top beam displacement and the roof force during the raising and falling periods of the hydraulic support are obtained and verified. The performance of the dynamic model of the hydraulic support is evaluated through the simulation of the whole motion process of the hydraulic support. The establishment of a digitized prototype for the hydraulic support may reduce the design cycle time as well as improve the design quality, which is helpful for the optimization design of the hydraulic support.

**Keywords** hydraulic support; virtual prototype; three-dimensional modeling; movement simulation

中国是世界上少数几个以煤为主要能源的国家之一。煤炭是中国能源供给和能源安全最基本、最经济、最可靠地保障,分别占全国一次能源生产和消费总量的76.6%和69.4%<sup>[1-2]</sup>。依靠科学进步,建设高产高效矿井,实现煤矿生产的机械化、自动化和安全高效,是振兴煤炭工业发展的根本出路<sup>[3]</sup>。综合机械化开采是20世纪煤矿开采技术的重大革命,综采工作面成套装备技术是综合机械化开采的核心技术<sup>[4]</sup>。发展高效综采的关键是装备技术的现代化,液压支架

是综采工作面主要设备之一,是机械化不可缺少的主要设备,其投资约占综采工作面成套设备总投资的60%左右。它的主要作用不但是支护采场顶板,维护作业空间的安全,而且要推移工作面采运设备,其安全性和可靠性直接决定着综合机械化采煤技术的成就<sup>[5]</sup>,而提高液压支架的性能是提高综采机械化的重要途径。

虚拟样机技术(VP)又被称为系统动态仿真技术,是利用虚拟的数学原型代替真实的物理样机,对选定分析的特殊属

收稿日期:2014-04-15;修回日期:2014-06-11

基金项目:国家“十二五”科技支撑计划项目(2013BAH12F01)

作者简介:刘雨博,副教授,研究方向为数字制造技术与信息化、先进制造系统与技术,电子信箱:lzq531784337@163.com

引用格式:刘雨博,李自强,白雪.基于虚拟样机的液压支架运动仿真与分析[J].科技导报,2014,32(21):43-46.

性进行检测和评价的一个过程。它是基于先进的建模技术、信息管理技术、仿真技术及虚拟现实技术的综合应用技术<sup>[6]</sup>。虚拟样机技术可模拟各种实际工况下虚拟样机的性能,可以直观、方便的对比分析多种设计方案,并可以完成物理样机无法进行的虚拟试验,从而获得产品的优化设计方案。本文以 ZZ5000/14.5/31 型液压支架为例,在 Pro/E 建立液压支架三维模型的基础上,利用 ADAMS 软件对所建模型进行运动仿真分析,从而更好地获取液压支架的运动过程及相关的参数,并对其优化设计。其流程<sup>[7]</sup>如图 1 所示。

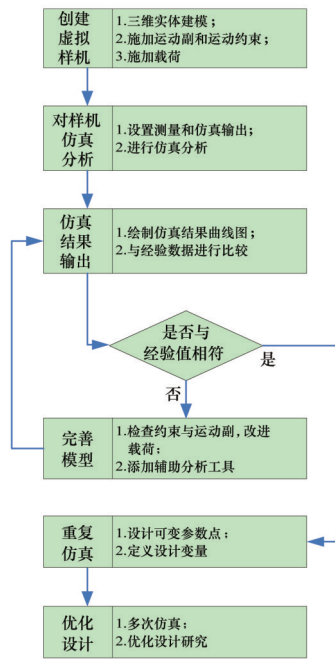


图 1 虚拟样机分析流程

Fig. 1 Analysis process of the virtual prototype

## 1 液压支架的三维建模

液压支架的虚拟样机建模,不仅是为了造型,其设计的修改、调整、虚拟装配、运动分析等方面均有独特优势<sup>[8]</sup>。运用 Pro/E 软件建模过程中,采用了自上而下的设计方法<sup>[9]</sup>。ZZ5000/14.5/31 型液压支架由承载结构件(包括顶梁、掩护梁、底座、连杆等)、液压油缸(包括立柱、各类千斤顶)、控制元件(包括液压系统中的操作阀、液控单向阀、安全阀等)、辅助装置(包括推移装置、护帮装置、活动侧护板等)等组成。这些部件大体上可以分为两类:一类为组装件,即部件由若干个构件组成,所以在按照某种特定约束关系对其装配前,需要先构建出组成它的各个构件;另一类为焊接件,如顶梁、底座等,部件之间没有相对位置变化,可视作刚性件,对其完全约束,故可直接对其建模<sup>[10]</sup>。由于液压支架由多个复杂的部件组成,所以在建模时要适当的进行简化,以提高系统的效率。液压支架部分子部件模型如图 2 所示。

液压支架所有部件创建好以后,即可对其进行装配。零件的正确装配是液压支架运动仿真的基础,所以装配模型时应正确的分析各部件的位置和相互间的运动关系。如焊接件无相对运动关系,则对其进行完全约束;对液压支架有相对运动关系的那些部件,则需要根据具体运动形式选择连接类型<sup>[11]</sup>。Pro/E 组件模块中提供了“坐标系”、“插入”、“对齐”等多种约束类型和“球连接”、“销钉连接”、“滑动连接”等多种连接形式<sup>[12]</sup>。准确选择这些约束类型和约束条件,对液压支架的装配和运动仿真起着重要的作用。例如,支架立柱与底座、顶梁之间选择球连接;底座与前后连杆之间,掩护梁与顶梁之间以及掩护梁与前后连杆之间等选择销钉连接;而各类千斤顶的活塞杆与缸体之间则采用滑动杆连接<sup>[13]</sup>。液压支架装配模型如图 3 所示。

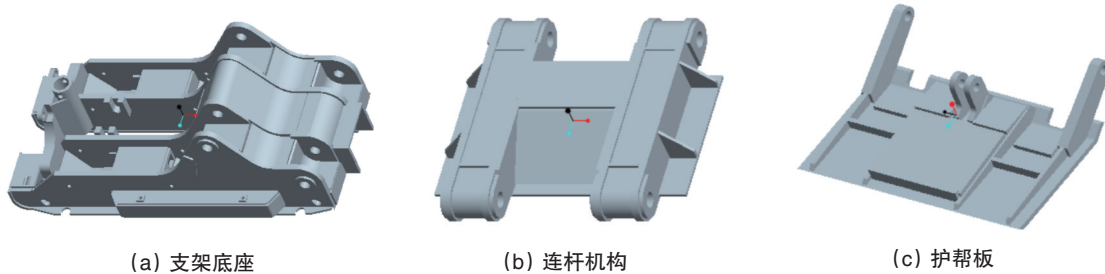


图 2 液压支架子部件模型

Fig. 2 Component models of the hydraulic support

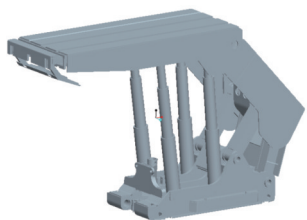


图 3 液压支架虚拟样机模型

Fig. 3 Virtual prototype model of the hydraulic support

## 2 虚拟样机的运动仿真分析

三维实体建模完成后,将模型导入到 ADAMS 软件中进行运动仿真。运用 ADAMS 软件能够根据实际需要,选取不同的边界条件和分析、比较多种参数,来研究液压支架的受力和运动学、动力学问题。通过对模型的仿真分析,在实现预期运动的基础上,根据分析结果进行参数化设计。

### 2.1 四连杆机构运动分析

四连杆机构(图 4)是现代液压支架的主要稳定机构,其

有效保证了支架横向和纵向稳定性,承受和传递外载荷,保持支架的整体刚度。四连杆机构运动仿真主要研究:1)各个构件在合理升降高度范围内受力是否合理,有无运动干涉;2)在升降范围内,掩护梁与顶梁铰接点E点运动轨迹能否达到要求;3)仿真输出。运用ADAMS/Post Processor模块对虚拟样机受力情况进行分析,输出虚拟样机的主要设计指标及受力关系曲线,并与经验数据曲线相比较,检验其合理性。

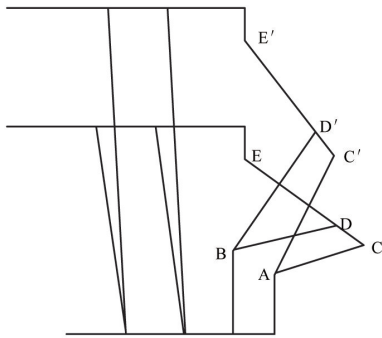


图4 四连杆机构模型示意

Fig. 4 Diagram of the four-bar linkage

分析结果可知,虚拟样机在升降范围内运动时,前后连杆受力曲线没有发生突变,各构件间亦无运动干涉,而且最大拉压力均低于工作阻力。

## 2.2 顶梁端点运动轨迹

运用ADAMS软件仿真分析得到图5液压支架顶梁端点的运动轨迹。支架升降时顶梁的运动轨迹是由四连杆机构决定的,即由顶梁与掩护梁铰点E的轨迹决定。仿真结果验证了支架顶梁端点的运动轨迹(即顶梁与掩护梁铰点运动轨迹)确实为双纽线。因此,合理地设计四连杆参数,能够更好地控制顶梁端点的运动轨迹,从而对于改善支架支护性能和连杆受力有着重要作用。

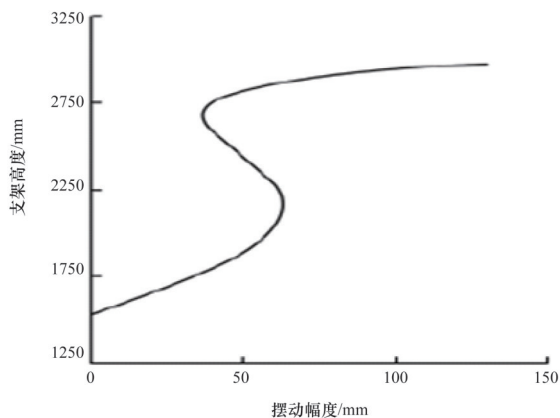


图5 顶梁端点运动轨迹

Fig. 5 Movement track of the top beam

由图5可知,支架在升降范围内运动时,顶梁端点会呈现双向摆动、单向向后摆动和单向向前摆动3种运动形式。由于支架工作时受到顶板载荷的作用,所以有被压缩的趋势。

当运动轨迹处于单向向前摆动式,顶梁相对于顶板有向煤壁移动的趋势,顶板对顶梁的摩擦力指向采空区侧。当运动轨迹处于单向向后摆动时,顶梁相对于顶板有向采空区移动的趋势,此时顶板对顶梁的摩擦力指向煤壁。当支架在2650 mm高度以上时,支架处于单向向前摆动段,在这种状态下对顶梁顶板处于挤压状态有力,因此应尽量保持支架在此高度以上工作。

## 2.3 顶梁位移与顶板力的关系

图6为立柱倾角为 $0^\circ$ 时顶梁前段点的水平位移随顶板压力的变化曲线,本建模中将顶板压力简化为集中力,并假设该集中力为变量,对其进行参数化设计。

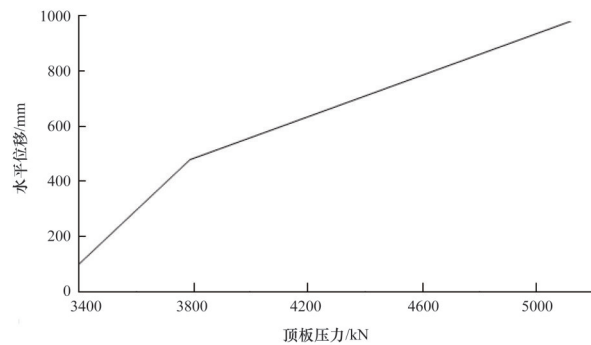


图6 顶梁前段点的水平位移随顶板压力的变化曲线

Fig. 6 Variation of the horizontal displacement of the front end of top beam with the roof pressure

由图6可以得出,随着顶板压力的增大,顶梁前段点的水平位移也在增大,但其增大趋势是减小的<sup>[14]</sup>。这是由于顶梁载荷不是线性分布,从而出现了转折点。

以上利用动力学软件ADAMS分析了液压支架的参数化虚拟样机,并对四连杆机构运动、支架顶梁端点运动轨迹以及顶板压力对顶梁位置的影响进行了分析<sup>[15]</sup>。所得结果表明,利用虚拟样机对液压支架进行参数化分析可以得到更加优化的设计方案,从而达到更高的产品质量。

## 3 结论

通过Pro/E对液压支架进行三维建模,运用ADAMS对支架进行运动学仿真分析,在对支架各机构简化的基础上,获得了液压支架的运动学和动力学信息。通过分析比较仿真结果与经验值,为液压支架的研制和改进提供了重要的参考。虚拟样机技术的应用能够在设计阶段可视化地对产品性能进行测试和分析,根据实验结果对产品进行改进优化,从而得到最优方案。这项技术的应用为液压支架的设计提供重要的指导意义。

## 参考文献(References)

- [1] 王国法. 煤炭综合机械化开采技术与装备发展[J]. 煤炭科学技术, 2013, 41(9): 44-48.

- Wang Guofa. Development of fully-mechanized coal mining technology and equipment[J]. Coal Science and Technology, 2013, 41(9): 44-48.
- [2] 张友军. 国内外选煤技术与装备的现状与发展趋势[J]. 选煤技术, 2011(1): 70-72.
- Zhang Youjun. The present situation and future development of the world coal preparation technology and equipment[J]. Coal Preparation Technology, 2011(1): 70-72.
- [3] 王国法. 液压支架技术[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- Wang Guofa. Powered support technology[M]. Beijing: China Coal Industry Publishing House, 1999.
- [4] 王国法. “十二五”煤矿开采装备技术的发展展望[J]. 煤矿开采, 2011, 16(3): 19-24.
- Wang Guofa. Prospect of coalmining equipment development in 12th five-year plan of china[J]. Coalmining Technology, 2011, 16(3): 19-24.
- [5] 王国法. 液压支架技术体系研究与实践[J]. 煤炭学报, 2010, 35(11): 1903-1908.
- Wang Guofa. Study and practices on technical system of hydraulic powered supports[J]. Journal of China Coal, 2010, 35(11): 1903-1908.
- [6] 田大丰, 张强, 杨文懋. 基于虚拟样机的薄煤层液压支架的动力学分析与仿真[J]. 矿山机械, 2010, 38(11): 15-17.
- Tian Dafeng, Zhang Qiang, Yang Wenmao. Dynamic analysis and simulation of hydraulic supports on thin coal seams based on virtual prototyping technology[J]. Mining & Processing Equipment, 2010, 38(11): 15-17.
- [7] 曹必德, 秦东晨, 倪和平, 等. 液压支架四连杆机构仿真优化[J]. 煤矿机电, 2006(5): 24-28.
- Cao Bide, Qin Dongchen, Ni Heping, et al. Simulation and optimization of four-bar linkage of hydraulic support[J]. Colliery Mechanical & Electrical Technology, 2006(5): 24-28.
- [8] 臧峰, 赵啦啦, 王忠宾, 等. 基于Pro/E的液压支架三维建模与运动仿真[J]. 煤矿机械, 2007, 28(5): 64-66.
- Zang Feng, Zhao Lala, Wang Zhongbin, et al. Three-dimension model and dynamic simulation of hydraulic support based on Pro/E[J]. Coal Mine Machinery, 2007, 28(5): 64-66.
- [9] 王国法, 徐亚军, 孙守山. 液压支架三维建模及其运动仿真[J]. 煤炭科学技术, 2003, 31(1): 42-45.
- Wang Guofa, Xu Yajun, Sun Shoushan. 3D modeling of hydraulic powered support and dynamic simulation[J]. Coal Science and Technology, 2003, 31(1): 42-45.
- [10] 李国峰, 李景辉, 朱庆波, 等. 基于Pro/E液压支架梁的设计及运动仿真[J]. 煤矿机械, 2011, 32(2): 8-9.
- Li Guofeng, Li Jinghui, Zhu Qingbo, et al. Design and simulation of hydraulic support beam's based on Pro/E[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(2): 8-9.
- [11] 马艾青, 韩文娟, 李石妍, 等. 基于Pro/E的液压支架工作过程的运动仿真[J]. 煤矿机械, 2011, 32(1): 59-61.
- Ma Aiqing, Han Wenjuan, Li Shiyun, et al. Motion simulation for working process of hydraulic support with Pro/E[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(1): 59-61.
- [12] 温建民, 于广滨, 左晓英. Pro/E野火中文版产品设计应用范例[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 102-280.
- Wen Jianmin, Yu Guangbin, Zuo Xiaoying. Pro/E wildfire Chinese version product design application example[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006: 102-280.
- [13] 郑晓雯, 郑东杰, 李锦彪, 等. 基于Pro/E与ADAMS的液压支架运动仿真与分析[J]. 煤炭机械, 2011(6): 237-239.
- Zheng Xiaowen, Zheng Dongjie, Li Jinbiao, et al. Movement simulation and analysis of hydraulic support based on Pro/E and ADAMS[J]. Coal Mine Machinery, 2011, 32(6): 237-239.
- [14] 韩文东. 基于Pro/E和ADAMS的薄煤层液压支架建模与仿真[J]. 中国新技术新产品, 2010(5): 143-144.
- Han Wendong. Model and dynamic simulation of thin coal hydraulic support based on Pro/E and ADAMS[J]. China New Technologies and Products, 2010(5): 143-144.
- [15] Wang G. New development of longwall mining equipment based on automation and intelligent technology for thin seam coal[J]. Coal Science & Engineering (China), 2013, 19(1): 97-103.

(责任编辑 吴晓丽)

·学术动态·



## 第四届中国湖泊论坛征文

为深入剖析研讨中国湖泊保护、开发与利用中存在的突出问题、共性和瓶颈问题,积极为从事湖泊综合治理和研究工作的科技工作者搭建交流平台,把最新的学术成果、科技成果转化为服务湖泊健康的具体举措,为生态文明建设提供有力的科技支撑,中国科协拟于2014年10月在安徽合肥举办第四届中国湖泊论坛。

本次论坛主题为“湖泊保护与生态文明建设”,现面向从事湖泊科学研究、管理、保护、治理、应用等工作的科技工作者和管理工作者征集论文。

详见中国科协网 <http://www.cast.org.cn/n35081/n35488/15735443.html>。