

基于虚拟样机技术的液压支架重心轨迹曲线的研究

徐亚军¹, 朱永战², 孙淑娟³

(1. 天地科技股份有限公司 开采所事业部, 北京 100013; 2. 平顶山煤矿机械厂, 河南 平顶山 467000;
3. 烟台职业学院 计算机与信息工程系, 山东 烟台 264025)

[摘要] 采用虚拟样机技术构建了液压支架动态仿真系统, 在此基础上对液压支架进行了运动仿真, 给出了支架在整个调高幅度内重心轨迹曲线, 为该类问题的解决提供了技术基础。

[关键词] 液压支架; 建模与仿真; 虚拟样机; 重心

[中图分类号] TP391.41 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1006-6225 (2004) 03-0004-03

Research of centrobaric track of hydraulic support based virtual sample machine technique

XU Ya-jun¹, ZHU Yong-zhan², SUN Shu-juan³

(1. Tiandi Science & Technology Co., LTD, Coal Mining Technology Dept., Beijing 100013, China;
2. Pingdingshan Mine Machine Factory, Pingdingshan 467000, China;
3. Yantai Vocation College Compute & Information Dept., Yantai 264025, China)

Abstract: Authors established dynamic phantom system of hydraulic support using virtual prototype technique, and locomotory simulated hydraulic support, included centrobaric track in all high extent of support, provided technology foundation of these problems.

Key words: hydraulic support; establishing model and phantom; virtual prototype; barycenter

长期以来, 由于设计方法与设计手段的限制, 在设计阶段准确求解液压支架重心位置一直没有得到解决, 一般通过样机悬挂法或质量反应法加以确定。这些方法不仅费工费时, 操作起来十分繁琐, 而且不能确定支架在任意工作高度下的重心位置。随着科技的发展, 特别是计算机技术 (CAD, CAE) 在工程设计领域的成功应用, 为该类问题的解决提供了技术支持。为此, 本文采用虚拟样机技术构建了液压支架动态仿真系统, 利用该系统研究了液压支架在整个调高范围内重心轨迹曲线的特点, 为该类问题的最终解决奠定了基础。

1 液压支架虚拟样机的构建

由于重心轨迹曲线是描述支架在整个调高幅度内支架重心的变化。为此, 必须就液压支架虚拟样机构建技术进行研究。

所谓虚拟样机 (Virtual Prototyping, VP) 技术又称系统动态仿真技术, 是 20 世纪 80 年代随着计算机技术的发展而迅速发展起来的一项计算机辅助工程 (Computer Aided Engineering, CAE) 技术。其以机械系统运动学、动力学和控制理论为核心, 借助于成熟的三维计算图形技术、基于图形的用户界面技术、信息技术、集成技术等, 将分散的产品设计开发和分析过程集成在一起, 使产品的设计者、使

用者和制造者在产品研制的早期, 在虚拟环境中直观形象地对虚拟产品原形进行设计优化、性能测试、使用仿真等, 用数字化形式代替传统的实物样机实验, 在系统水平上真正地预测机械结构的工作性能, 实现系统的最优化设计。

目前机械工程领域中虚拟样机是特指 MDI (Mechanical Dynamics Ins.) 研制开发的 ADAMS (Automatic Dynamics Analysis of Mechanical System) 机械系统动力学仿真分析软件系统。该软件功能强大, 可以对虚拟机械系统进行静力学、运动学和动力学分析, 缺点是价格昂贵, 并且同三维建模软件兼容性较弱。本文综合考虑各方面因素, 决定采用 SolidWorks 作为三维建模软件, 选用 Cosmos/Motion 作为运动仿真模块来构建液压支架虚拟样机平台。实际上, Cosmos/Motion 是 ADAMS 软件的简化版, 是 MDI 公司专门针对 SolidWorks 等软件开发的运动仿真模块——无缝兼容于建模软件 (以插件的形式存在), 具有体积小, 运动速度快和对计算机硬件要求不高等特点。较 ADAMS 而言, 其功能有限, 但是足以胜任液压支架的运动仿真。

2 重心轨迹曲线的实现

2.1 重心解析表达式的求解

设有图 1 所示的物体, 将其分成 n 个物体,

[收稿日期] 2003-09-15

[收稿日期] 煤科总院科技发展基金资助项目 (2003QN22)

[作者简介] 徐亚军 (1971-), 男, 安徽枞阳人, 硕士, 现在天地科技股份有限公司开采所事业部支架室从事支架设计工作。

各物体的重量为 p_i ，重心坐标为 (x_i, y_i, z_i) 。由理论力学知识可知，物体重心 $C(x_c, y_c, z_c)$ 为：

$$\begin{cases} x_c = \frac{\sum p_i x_i}{\sum p_i} \\ y_c = \frac{\sum p_i y_i}{\sum p_i} \\ z_c = \frac{\sum p_i z_i}{\sum p_i} \end{cases} \quad (1)$$

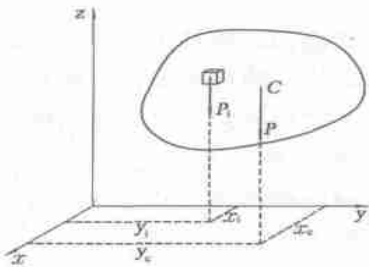


图1 物体重心示意

如果物体由一个或几个几何形体组合而成，设每个几何体的重心坐标为 (x_i, y_i, z_i) ，重量为 Δw_i ，则由式(1)可知，物体的重心 $C(x_c, y_c, z_c)$ 为：

$$\begin{cases} x_c = \frac{\sum x_i \Delta w_i}{\sum \Delta w_i} \\ y_c = \frac{\sum y_i \Delta w_i}{\sum \Delta w_i} \\ z_c = \frac{\sum z_i \Delta w_i}{\sum \Delta w_i} \end{cases} \quad (2)$$

理论上支架的重心可采用式(2)进行求解。由该公式可知，欲求解支架的重心，则需要知道每个零部件的重心以及它们装配后在支架内的确切位置。对于二维设计来说，上述这些要求几乎是没法完成的，这就是长期以来该问题一直没有得到有效解决的原因之所在。

2.2 基于虚拟样机技术的重心求解

随着计算机技术的发展，在工程设计领域越来越多的采用虚拟样机进行设计。而其中的三维建模软件可以方便地求解出物体的重心，为该问题的解决提供了契机。

该设计方法是首先构建支架的三维实体模型，然后再进行运动仿真，进而求解出支架在不同高度下的重心坐标，将各点坐标传到 Matlab 软件中采用三次样条插值拟合即可。该方法的特点是形象直观，同时还可以求解支架梁端轨迹曲线以及进行后期的有限元运算，因而很是方便。

需说明的是，采用 Cosmos/Motion 进行运动仿

表2 不同支架高度下支架重心值

	支架高度											
	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2400	2500	2600	2700	2800
水平重心	1007	971	940	915	894	878	866	858	854	852	849	831
铅垂重心	871	937	1004	1072	1140	1209	1279	1348	1419	1489	1559	1627

真时必须选取一个零件作为主动件。具体到支架运动仿真，最为简便的方法是选用其中一个连杆作为主动件。该方法虽然同支架实际运动有些出入，考虑到支架重心仅同顶梁、尾梁和连杆机构等部件的位置有关，也就是说当连杆机构尺寸确定后，如果伸缩梁和尾梁同顶梁不发生相对运动，则重心轨迹曲线也就随之确定下来。因此，采用上述方法是能够满足设计要求。

3 算例

为说明问题，本文选用 ZF3600/17/28H 四柱式反四连杆放顶煤液压支架作为研究对象。该支架的工作阻力为 3600kN，最低运行高度为 1.7m，最大运行高度为 2.8m，调高幅度为 1.1m。支架三维模型如图 2 所示。

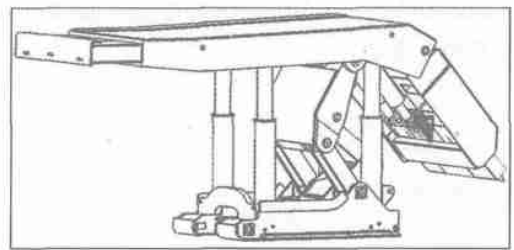


图2 支架三维模型

其中一些主要零部件的重量如表 1 所示。

表1 ZF3600/17/28H 型液压支架各零部件重量统计 t

	底座	顶梁(含伸缩梁)	尾梁(含插板)	前连杆	后连杆	斜梁
数量	1	1	1	2	1	1
重量	2.6	4.5	2.3	0.4	0.3	1.1

在上述模型基础上对支架进行运动仿真，求出其梁端轨迹曲线与各点重心。将所得数据导入到 Matlab 软件中进行绘制和曲线拟合处理。其重心轨迹曲线如图 3 所示，不同支架高度下重心位置如表 2 所示。

仔细分析图 3 可以得出如下结论：

(1) 随着支架在整个调高范围内由低向高运动，重心轨迹呈现向煤壁方向的运动趋势，这种运动趋势在支架高度超过一定数值后（对上述支架来说，约为 2.5m），变得越来越迟缓。

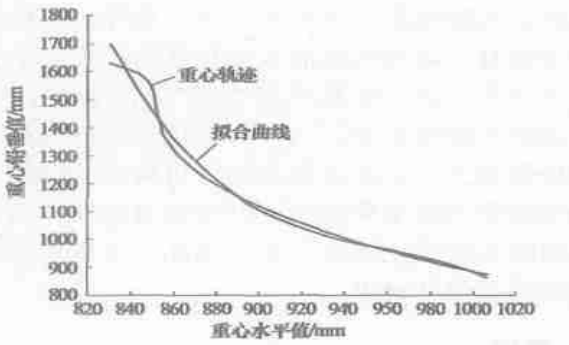


图 3 重心轨迹拟合曲线

(2) 整个重心轨迹曲线呈近似双曲线形状。这种双曲线形状在支架高度超过一定数值后则遭到破坏，这是因为支架重心是与各零部件重心相关联的，而顶梁（含伸缩梁）在支架总重中占很大比例，因而其对重心位置的影响也最为直接（梁端轨迹如图 4 所示）。

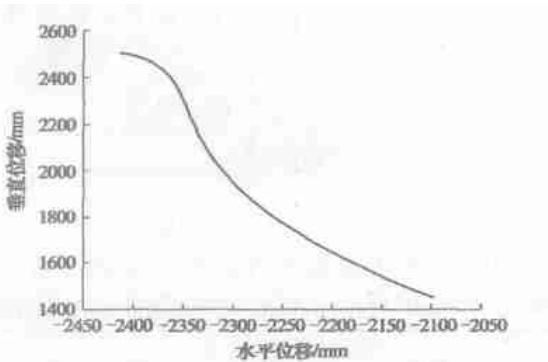


图 4 梁端轨迹曲线

(3) 支架在接近最高位置时其重心变化开始变得明显，这种特点对大采高、大倾角液压支架的设计提出较高的要求。考虑到支架在高位时其稳定性会降低，因而在设计大采高和大倾角液压支架时，必须要考虑到重心位置的变化对支架的稳定性所产生的影响，以提高其可靠性。

(4) 重心轨迹曲线同支架梁端轨迹的关系较为密切（单就顶梁而言，其重心轨迹曲线同梁端轨迹曲线是一致的），因此在支架设计中必须要严格控制梁端距的变化值。实际上，在整个支架中，顶梁（含伸缩梁）、底座和立柱重量占支架总重 70% 以上，而支架在运动时，底座和立柱的重心不发生变化，因而顶梁的重心变化就显得尤为重要。

实际上，上述重心轨迹曲线可以采用曲线进行拟合。为简单起见，本文采用最小二乘法对上述曲线进行了拟合。具体的说，就是将支架在不同高度下的重心数据导入到 Matlab 中，然后采用最小二乘

法进行多项式逼近（在 Matlab 中最小二乘法是采用 ployfit 和 ployval 两命令来实现的）。拟合的结果如图 3 所示，实践表明，对上述曲线采用三次多项式逼近时精度最高。

4 结论

本文采用虚拟样机技术，成功求解了支架的重心及其轨迹曲线，使得支架设计更加高效、可靠与快捷。通过本文的研究，可以得出如下结论：

(1) 虚拟样机技术对支架的设计有着重要的影响，随着时间的推移，其必将成为支架设计中一项不可缺少的工具；

(2) 对于支架设计来说，四连杆机构的设计很关键，可以说该机构的好坏对支架的性能有着直接的影响；

(3) 由于重心轨迹同支架梁端的变化有着直接的联系，为防止重心水平位移发生较大的变化，因此在支架设计时，必须要严格控制端面距的变化尺寸；

(4) 随着支架由低位向高位运动，其重心也随之升高，对支架的稳定性造成一定的影响。因而在支架设计时，应尽量采取措施以降低支架的重心，进而提高支架的稳定性。

[参考文献]

[1] 弓培林, 靳钟铭. 影响大采高综采支架稳定性的试验研究 [J]. 太原理工大学学报, 2001, 6: 669-669.

[2] 雷振霄, 贾杰. 工程机械重心高度测试误差分析 [J]. 机电产品开发与创新, 1998, 6: 31-32.

[3] 郑建荣. ADAMS 虚拟样机技术入门与提高 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2002.

[4] 徐亚军, 王国法, 柴宾元, 等. 液压支架虚拟样机构建技术的研究 [J]. 煤矿开采, 2003, 8 (4): 8-11.

[5] 哈工大理论力学教研室. 理论力学 (上册) [M]. 北京: 高等教育出版社, 1991.

[6] 孙世贤, 黄训圭. 理论力学教程 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1997.

[7] 伍永平, 员东风. 大倾角综采支架稳定性控制 [J]. 矿山压力与顶板管理, 1999, 3: 82-86.

[8] 何富连, 钱鸣高, 刘学峰, 等. 大采高液压支架倾倒特征与控制条件 [J]. 中国矿业大学学报, 1997, 4: 20-24.

[9] 王国法, 史元伟, 陈忠恕, 等. 液压支架技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.

[10] 苏金明, 阮沈勇. Matlab 6.1 实用指南 (上册) [M]. 北京: 电子工业出版社, 2002.

[责任编辑: 邹正立]