

# 液压支架前连杆的有限元分析

蔡文书, 程志红, 沈春丰, 宋玉鹏

(中国矿业大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221008)

**摘要:** 利用三维软件和有限元软件建立了液压支架前连杆三维实体模型和有限元模型。运用有限元分析软件 MSC. Nastran 对有限元模型进行了静力分析和模态分析, 得到了有用的数值模拟结果。分析结果对改进液压支架前连杆的结构设计提供了参考依据。

**关键词:** 液压支架; 前连杆; 有限元分析; MSC. Nastran; 数值模拟

**中图分类号:** TP391.7; TD355 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2336(2009)04-0069-03

## Finite Element Analysis on Front Link of Hydraulic Powered Support

CAI Wen-shu, CHENG Zhi-hong, SHEN Chun-feng, SONG Yu-peng

(School of Electromechanical Engineering, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China)

**Abstract:** The 3D substance model and the finite element model of the front link for the hydraulic powered support were established with the 3D software and the finite element software. The finite element analysis software, MSC. Nastran, was applied to make the static analysis and the modal analysis to the finite element model. The effective numerical simulation results were obtained. The analysis results could provide the reference basis to improve the structure design of the front link of the hydraulic powered support.

**Key words:** hydraulic powered support; front link; finite element analysis; MSC. Nastran; numerical simulation

有限单元法是近几十年发展起来的一种现代计算方法, 目前已广泛应用于计算力学和计算工程科学领域中。MSC. Nastran 是现行通用的基于有限元理论的有限元分析软件, 以 ZY3200/12/28 型液压支架为例, 应用该软件对液压支架的重要结构件——前连杆进行了有限元分析计算。

### 1 前连杆受力分析

液压支架受力如图 1 所示, 假设顶梁受顶板集中载荷  $Q$ , 顶板与顶梁间摩擦系数为  $f$ , 顶梁水平方向上的受力为  $N$  ( $N = Qf$ ), 立柱的工作阻力为  $P$ , 平衡千斤顶的工作阻力为  $P_E$ , 前连杆受力为  $F_1$ , 后连杆受力为  $F_2$ , 立柱倾角为  $\beta$ 、前连杆倾角为  $\alpha_1$ , 后连杆倾角为  $\alpha_2$ ,  $\varphi$  为  $O$  和  $O_1$  连线与水平方向夹角,  $T$  为集中载荷作用点与  $O$  点的水平距离,  $K$  为  $O$  点与  $O_1$  点的水平距离,  $R_1$  为  $O_1$  点到  $P$  作用线的距离,  $R_2$  为  $O$  点到  $P$  作用线的距离,  $t$  为  $O$  点到  $P_E$  作用线的距离,  $H_0$  为  $O$  点到顶梁水平平面距离,  $H$  为支架支撑高度,  $L$  为顶梁长度。

取顶梁、掩护梁为隔离体, 得平衡方程:

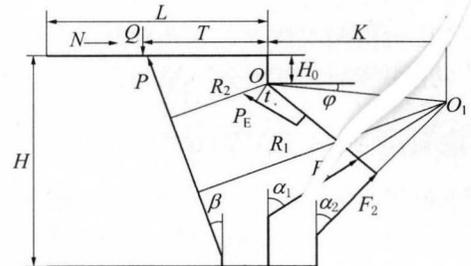


图 1 液压支架受力分析

$$\begin{cases} PR_1 + N(H_0 + K \tan \varphi) - Q(T + K) = 0 \\ N + F_1 \sin \alpha_1 + F_2 \sin \alpha_2 - P \sin \beta = 0 \\ P \cos \beta + F_1 \cos \alpha_1 + F_2 \cos \alpha_2 - Q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

对顶梁  $O$  点取力矩:  $PR_2 + P_E t + NH_0 - QT = 0$ 。可得:

$$Q = \frac{P_E t - P(R_1 - R_2)}{fK \tan \varphi - K} \quad (2)$$

$$F_1 = \frac{P \sin(\beta + \alpha_2) - Q(f \cos \alpha_2 + \sin \alpha_2)}{\sin(\alpha_1 - \alpha_2)} \quad (3)$$

在液压支架升至最大采高约 2/3 位置, 参考 ZY3200/12/28 型液压支架技术参数, 取摩擦系数  $f$  为 0.2, 据式 (3) 可计算得前连杆受力为 1 370.7 kN, 该力作为有限元静力分析时的力载荷<sup>[2]</sup>。

## 2 前连杆三维实体模型的建立

有限元软件 MSC. Nastran 的建模功能不强,但与多数三维建模软件有很好的模型识别接口,能够在不丢失任何数据的前提下导入三维实体模型。液压支架前连杆模型没有很复杂的造型特性,在 SolidWorks 环境中建立实体模型,如图 2a 所示。

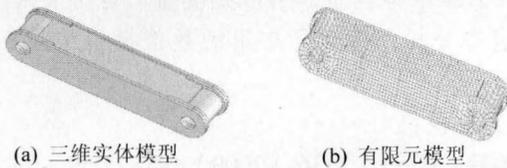


图2 前连杆的模型

为了正确、高效地对前连杆进行有限元计算,在实体建模时采用以下简化原则:①前连杆是由金属板材焊接起来的结构,焊缝对于结构强度的影响在有限元分析中一般是单独进行研究的。该研究中不考虑焊缝。②为了降低模型虚拟装配和有限元分析模型的复杂程度,前连杆前后铰接处不单独建立销轴的零件模型。对于销轴连接,在做有限元分析时可采用一些特殊的单元进行模拟。③为了便于有限元分析模型的建立,忽略对有限元分析影响小的零件细小特征,如倒角、圆角。

## 3 前连杆有限元模型的建立

为了保证模型从三维软件导入到有限元分析软件数据的完整性和一致性,导入时采用下面的方法:①先将模型在 Solidworks 中另保存为“parasolid”文件格式,其文件后缀为“.x\_t”,文件命名不要有汉字,命名为“qianliangan”。②在有限元分析前处理软件 MSC. Patran 中通过“import”选项导入文件,选择“parasolid”文件格式,导入时一定要将默认单位由英寸改为毫米。③通过软件弹出的报告检查模型实体、面、线、顶点的数量以及尺寸、体积,验证模型导入的正确性。经检查,模型导入数据无丢失现象,尺寸亦保持一致,导入正确。导入后模型有 13 个实体,并由软件自动识别创建了组,便于对模型进行有限元划分。

前连杆有限元模型全部采用分析性能很好的六面体实体单元 Hex8 进行划分,在划分网格时通过在边界添加硬点、硬线以及撒种子的控制方法使各单元间协调一致。划分时,对于套筒靠近内表面处

网格划分密一些,整个模型网格划分良好。离散后的有限元模型一共有 3 856 个单元,7 266 个结点,模型划分很精确<sup>[3]</sup>。前连杆的零件材料有 Q460, 27SiMn, 16Mn 三种,3 种材料的弹性模量  $E$ 、泊松比  $\mu$ , 密度相差不大<sup>[4]</sup>,建模时单元的材料属性都设为: $E = 206 \text{ GPa}$ ,  $\mu = 0.28$ , 密度为  $7.86 \text{ g/cm}^3$ 。前连杆的有限元模型如图 2b 所示。

## 4 前连杆的有限元分析

对于连杆左右两端的铰接约束采用多点约束 (MPC) 的方法进行模拟,本文采用多点约束单元 (RBE2) 模拟铰接约束<sup>[5]</sup>。具体方法如下:①通过“create - node - ArcCenter”在左右主筋内圆圆心上创建 2 个节点。②采用“transform - node - translate”将创建的 2 节点移动到左右 2 套筒内圆柱面的中心处。③采用“create - MPC - RBE2”分别以创建的 2 结点为独立结点,以左右主筋板与贴板内圆的结点为依赖节点建立 RBE2 单元。创建时左端 RBE2 单元模拟前连杆与支架底座的铰接,右端 RBE2 单元模拟前连杆与掩护梁的铰接。各依赖节点释放除轴向旋转自由度外的其他 5 个自由度。创建的多点约束单元如图 3 所示。

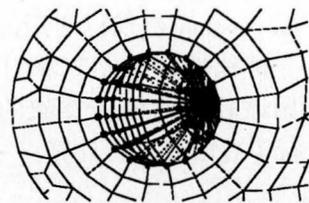


图3 多点约束示意

将前连杆看成是二力杆,对前连杆左端独立结点施加位移约束,约束所有自由度。前连杆右端独立结点上施加沿连杆方向上的力,这里施加为拉力,大小为  $1\,370.7 \text{ kN}$ 。选择“Linear Static”分析类型进行静强度分析。

为了研究前连杆的基本动力学特性,对前连杆进行了自由模态分析。模态分析的作用主要有以下 3 个方面:①使结构避免共振或按特定频率进行振动;②了解结构对不同类型的动力载荷的响应;③有助于在其他动力学分析中估算求解控制参数,例如时间步长等<sup>[6]</sup>。因此有必要对前连杆进行模态分析。去掉静力分析时所加的约束和力载荷,选择“Normal Modes”分析类型进行模态分析。

### 5 分析结果

由图 4 可以很直观地看到前连杆受拉时的应力分布情况，总体上前连杆各焊缝连接处应力较大，最大应力发生在两端主筋板与贴板焊接区域，最大 VonMises 应力为 128 MPa。有限元分析的应力分布情况与预想的应力分布规律是相符的。可见在正确施加边界约束条件后，运用有限元分析法能够对液压支架进行强度分析计算，指导液压支架的设计。

模态分析结果一共有 26 阶模态，前 6 阶模态为刚性模态，其余 20 阶模态为要求输出的 10 阶模

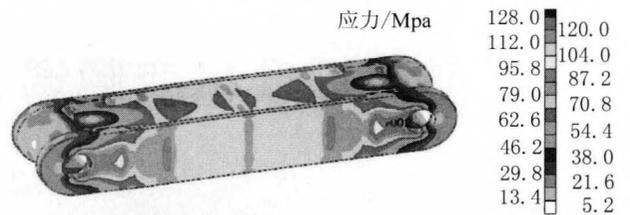


图 4 前连杆静应力分布

态与约束自由度决定的 10 阶模态。通过查看分析结果可知，前 6 阶刚性模态固有频率值均接近于 0，是非主要模态，不予考虑。图 5 列出了 6 个典型的主要模态分析结果。

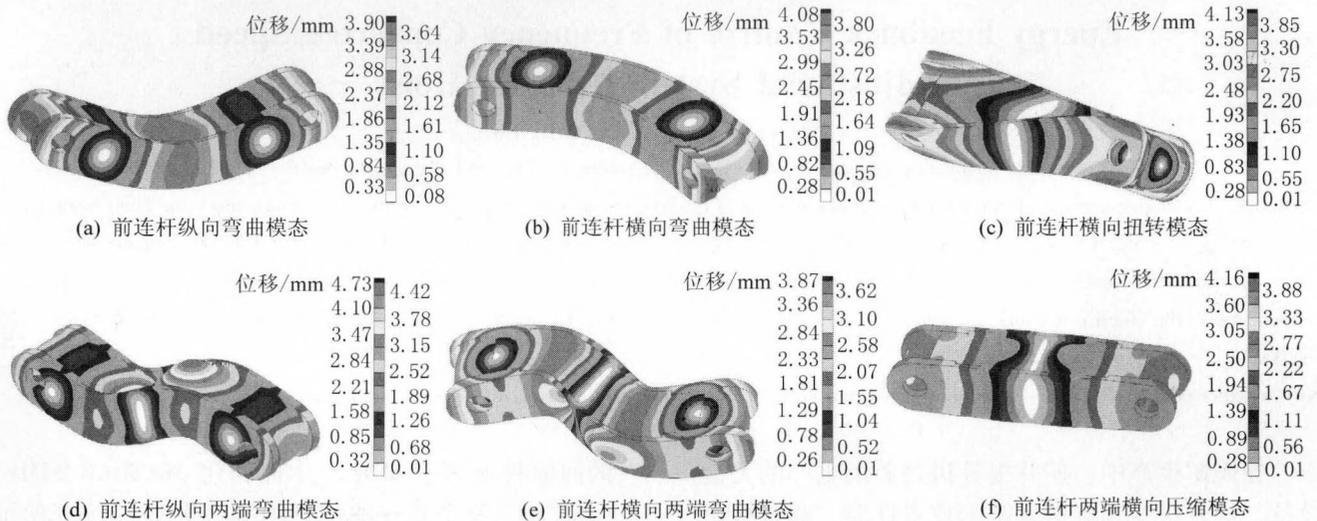


图 5 前连杆弯曲模态

据模态分析结果，得到了前连杆的纵向弯曲、横向扭转、两端弯曲等主要模态以及各模态的固有频率和特征向量。如前连杆纵向弯曲的频率为 699.26 Hz，横向扭转时的频率为 980.11 Hz，对应的最大模态位移量分别为 3.90 和 4.13 mm。用有限元方法做模态分析可以让设计者在不用实测的情况下预知结构的动力特性，得出振动的固有频率，为进一步改进设计提供有用的依据。

综上所述，运用有限元分析软件 MSC. Nastran 对液压支架前连杆进行了线性静力强度分析和模态分析，得到了有用的数值模拟结果。在建立有限元模型时为了简化没有考虑焊缝的影响，铰接约束采用刚性单元 (RBE2) 进行模拟，没有考虑销轴间隙以及摩擦因素的影响，这些简化使得软件模拟与真实情况有一定差别。在有限元分析中，如何精确地模拟焊缝和铰接还需进一步研究。

#### 参考文献：

- [1] 郭忠平, 付文富, 樊克恭. 有限元法在液压支架设计中的应用 [J]. 山东矿业学院学报, 1994 (4).
- [2] 王国法. 液压支架技术 [M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1999.
- [3] 刘兵山, 黄 聪. Patran 从入门到精通 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2003.
- [4] 徐 灏, 邱宣怀, 蔡春源, 等. 机械设计手册 [K]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [5] 杨 剑, 张 璞, 陈火红. 新编 MD Nastran 有限元实例教程 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [6] 李德葆. 振动模态分析及其应用 [M]. 北京: 宇航出版社, 1989.

作者简介: 蔡文书 (1984 -), 男, 湖北仙桃人, 硕士研究生, 主要从事虚拟样机运动仿真、机械结构强度分析方面的研究。Tel: 13685137072, E-mail: caiwenshu@163.com

收稿日期: 2008-12-18; 责任编辑: 张 扬