

基于流固耦合分析方法的减振器复原阀节流特性研究

李小波 沈季胜 宁晓斌 谢伟东
(浙江工业大学 机械工程学院 浙江 杭州 310014)

摘要: 研究基于流固耦合的减振器叠加复原阀建模分析方法。用 ADINA 软件建立了节流阀三维固液耦合分析模型,用其中流固耦合分析模块对其非线性动态特性进行分析,得到弹性阀片的变形、油液的流场特性等。通过与该型号减振器技术参数对比验证建模的有效性。

关键词: 液力减振器; 节流阀; 流固耦合; 有限元分析

中图分类号: TH12 文献标志码: B 文章编号: 1671-5276(2010)04-0020-03

Restriction Characteristic Study of Shock Absorber Superimposition Restoration Valve Based on FSI

LI Xiao-bo SHEN Ji-sheng NING Xiao-bin XIE Wei-dong
(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: A finite element simulation of shock absorber superimposition restoration valve based on fluid-solid interaction is studied. A three-dimensional fluid-solid interaction model of the throttle valve is built by ADINA. Meanwhile, the deformation of the Flexible valves and flow field character of the oil fluid are obtained by analyzing the nonlinear dynamic characteristics of the valve using FSI module of ADINA. By contrast with the technical parameters of this kind model of the shock absorber, the validity of modeling is verified.

Key words: hydraulic shock absorber; valve; fluid-structure interaction; finite element analysis

0 引言

减振器阀系的参数化设计一直是困扰减振器设计和开发的关键问题^[1]。筒式液阻减振器节流阀片是影响其阻尼特性的关键零件,对减振器进行动态特性仿真以及性能的预测的主要工作是阀系的设计^[2]。减振器的节流阀片通常是有多片相同或不同厚度节流阀片叠加起来,以保证其相应的阻尼特性。常见的节流阀有弹性阀板组型、弹性阀板与螺旋弹簧组合型、板阀与螺旋弹簧组合型等,其弹性元件的位移和变形与节流区域流场之间存在着较强的动力学耦合关系,正确描述上述耦合关系是对减振器建模研究的关键所在^[3]。鉴于当前叠加阀片的研究现状和减振器实际设计、生产加工的需要,本文以某减振器为例,用有限元软件建立了其复原阀流固耦合(FSI)有限元分析模型,仿真分析了在特定工况下叠加节流阀片的动态响应及油液常缺口处流场特性,通过该减振器技术参数对比验证建模的正确性。

1 FSI

FSI的主要特征是:固体的变形对流体运动产生影响,流体的运动同样对固体的变形起作用。FSI计算的核心是流体与固体的分析计算以及FSI系统方程的求解。流体本身的非线性使流体力学连续方程求解及其困难,而FSI问题不仅要考虑流体域固体的数值分析,还要考虑两者之间的耦合。

2 复原阀系流固有限元模型及后处理

2.1 复原阀的流固有限元模型

减振器的实际工作过程为:外力作用在活塞杆上使其在工作腔上下运动,油液通过节流阀系实现预期的阻尼特性。实际建模过程中,通过固定活塞,对油液施加与活塞运动相同大小相等方向相反的速度载荷,来模拟减振器工作的复原行程。以某减振器复原阀总成作为建模对象如图1所示。

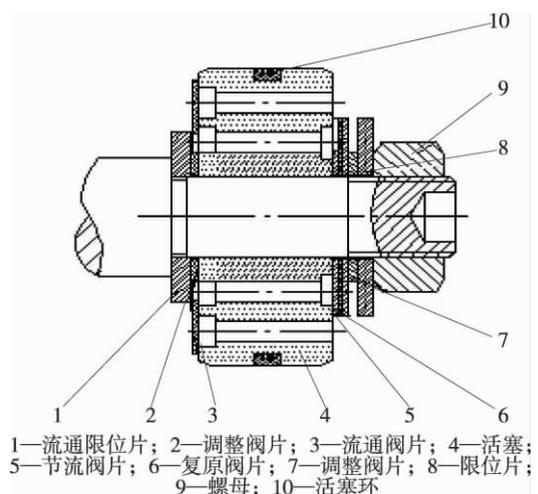


图1 某减振器复原阀总成

作者简介: 李小波(1984—),男,河北邯郸人,硕士研究生,主要从事汽车减振器设计、开发研究。

在 ADINA 中建立复原阀系对应的固体和液体模型如图 2 和图 3 所示。为保证求解的准确性及节省计算时间,对结果有较大影响的叠加阀片部分采用细化网格,而活塞部分采用相对较大网格。同时,为更好的模型活塞在复原行程中,液体及固体阀片的运动特性,在构建固体模型时,加上了活塞体。流体动力学对网格的质量要求较高,对液体划分比固体更小的网格,网格采用 ADINA - F 提供的 4 节点四面体单元,单元中心有辅助速度节点。固体的模型采用上述相同的网格。



图 2 复原阀系固体模型

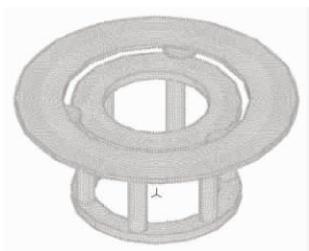


图 3 复原阀系液体模型

2.2 边界条件

固体模型中与活塞接触节流阀片采用常缺口型阀片如图 4 所示,其他均为与其材料属性、厚度相同的阀片。由于阀片的变形,阀片间存在相互作用。为更好的模拟组合阀片的流固耦合分析时阀片间的变形,叠加阀片间相互接触面定义了接触。各阀片具有相同的材料属性,此处的接触类型为刚体-刚体型,考虑阀板工作过程中的开度较小,则将设阀片间的摩擦系数为零。活塞体施加轴向位移约束,从而保证阀片组有效的工作过程。

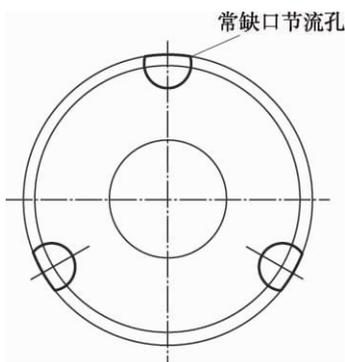


图 4 节流阀片

液体模型的入口处,施加大小为 2.0 m/s 的速度载荷如图 5 所示。在 ADINA 中 FSI 模块中,液体模型的求解参数的设置起主导作用。为保证模型的稳定性及求解的收敛性,获得一个稳定的初始条件是很重要的。常用的方式有两种:重启动、初始零加载。本文采用的是后者,即速度载荷的前期,施加大小为零的载荷,以获得动态初始条件。液体与节流阀片的接触面定义为耦合面,其他为非滑移面。



图 5 流体的边界条件

模型是在双 2.3 GHz CPU HP xw9400 工作站上计算所得,计算信息如表 1 所示。

表 1 模型计算信息

最小步长/s	步数	耗时/h
0.001	250	163

2.3 后处理

常通孔处的流体是连接阀片两端液体的关键部分,同时也是复原阀实现阻尼分段性的关键因素,因此分析常通孔处的流体状态显的尤为重要。为了清晰的了解阀片处流体的运动状态,采用 x 轴切片对液体模型进行切割如图 6 和图 7 所示,得到其速度特性图。油液在常通道出口处由于流通面积的突变及油液与弹性阀片相互作用等因素的共同影响,使得该处的油液湍流加剧。图 6 和图 7 表明高速常通道出口油液与耦合面区域低速油液的混流,从而在出阀口附近形成两处流体的运动速度方向相反、面积大致相同的漩涡区。在 $t = 1.142$ s 时,两漩涡的速度大小约为 0.48 m/s, $t = 1.196$ s 时,两漩涡的核心区的速度大小约为 0.72 m/s,且漩涡的强度和面积有不断增大的趋势。

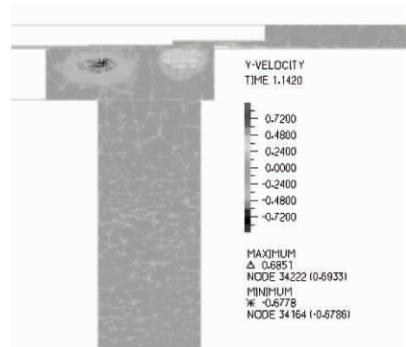


图 6 y 向油液速度特性图

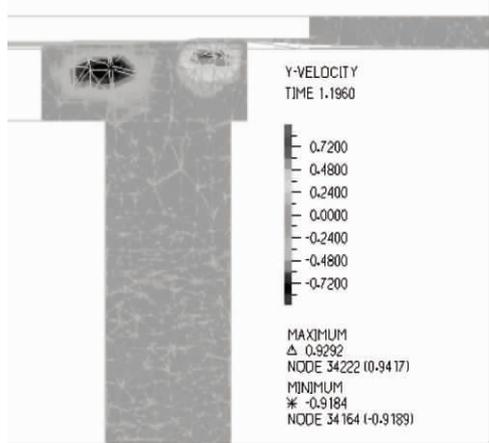


图7 y向油液速度特性图

出现上述情况主要由以下几种原因造成:流经节流通道的油液与叠加弹性阀片的耦合作用改变了其流动方向;常通道出口油液与耦合面区域油液的混流造成流场湍流加剧;无论复原阀弹性阀片组开启与否,分布于节流阀片两端的油液存在大小不等的轴向速度,由上述分析可知常通道油液的出口速度明显高于板阀另一侧油液的速度;此外,油液流动方向的突变对其也有一定的影响。

同样的,固体模型采用同样的方式对其切割。对叠加阀片施加接触约束,使阀片的受力对叠加阀片接触面添加接触约束后,改善了阀片的受力状态,阀片的变形趋向均匀。图8和图9为复原阀的轴向剖视图,可清晰的获得复原阀片组的径向应力分布。阀片的最大应力应变均出现在常缺口处,该区域作为复原阀的常通孔,同时在复原阀的开启过程中与弹性阀片的相互作用都使得该处的油液特性变得复杂,使得该区域的油液的压力分布不均匀且速度较大,从而造成了弹性阀片上述的应力分布。

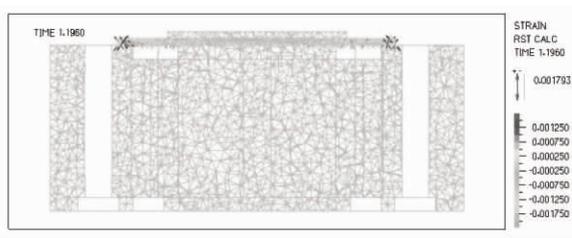


图8 阀片的应力

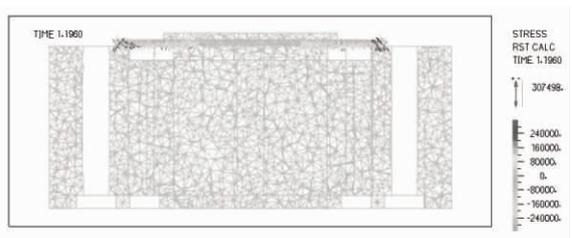


图9 阀片的应变

图10为叠加复原阀片组出阀口位移-时间历程图,在1.1s时前后阀片的位移出现了明显的变化,即在1.1s时达到阀片的开阀点。按照定义的时间步,得知开阀点对应的开阀速度为0.3m/s,与该型号减振器性能参数基本吻合,证明了建模的正确性。另外,模型的计算量不够,导致阀片轴向位移没有达到设计的最大位移,所以,时间历程图没有出现相应的曲线。

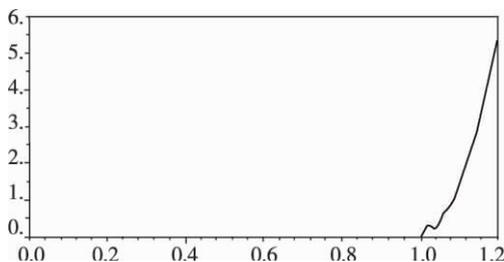


图10 阀片某点位移的时间历程图

3 结语

运用非线性有限元软件ADINA,建立某减振器叠加阀片模型及液体的FSI分析模型,对其进行模拟计算。模拟结果与该减振器的相关的技术参数基本接近。分析了阀片的开阀过程、流体的流场运动特性,为减振器阀片的参数化建模提供参考。

参考文献:

- [1] 吕振华,李世民.筒式液阻减振器动态特性模拟分析的发展[J].清华大学学报(自然科学版),2002(42):1532-1536.
- [2] 周长城,顾亮.筒式减振器叠加节流阀片开度与特性试验[J].机械工程学报,2007,43(6):210-215.
- [3] 李世民,吕振华.汽车筒式液阻减振器技术的发展[J].汽车技术,2001(8):10-16.
- [4] 吕振华,李世民,刘目珍.筒式液阻减振器工作特性的实验研究[J].汽车工程,2005,27(2):203-208.
- [5] Wen-Bin Shanguan, Zhen-Hua Lu, Experimental study and simulation of a hydraulic engine mount with fully coupled fluid-structure interaction finite element analysis model [J]. Computers and Structures, 82 (2004) : 1751-1771.
- [6] 周长城,赵力航,顾亮.减振器叠加节流阀片研究[J].北京理工大学学报,2006,26(8):681-684.
- [7] 吕振华,伍卓安,李世民.减振器节流阀非线性节流特性的有限元模拟分析[J].机械强度,2003,25(6):614-620.
- [8] Adina R&D Inc. ADINA theory and modeling guide [J]. Watertown, MA 2001, I - III.

收稿日期:2010-01-06