

可调阻尼减振器动态控制及参数优化仿真分析

李 宁,裴亚迪,王胜辉

(许昌职业技术学院,机电与汽车工程学院,河南省许昌市,461000)

摘要 减振器在许多工程领域得到广泛应用。采用电磁阀开关和比例阀门的阻尼调整可以实现对油路开关状态的精确控制,阻尼式比例阀绕组属于感抗型元件,当瞬时改变时受线圈电感值和组成结构诸多因素的综合影响。设计了一种可调阻尼减振器,并开展阻尼调节动态控制分析。研究表明:过小的阻尼会限制电磁力,使阀芯运动状态波动。当阻尼值增加时,阀芯上升时间也有所延长。当铁组件更大重量时阀芯能够更快速实现触发反应,阀芯占用需更多时间进行上升及响应动作。该研究能够有效地提高减震器的控制效率,也可拓宽到其他的减震领域。

关键词 液压减振器;阻尼调节阀;动态特性

中图分类号:TH137.5 文献标识码:B
文章编号:1008-0899(2026)04-0029-02

目前市场上主要有两种进行阻尼调节的减震系统,即磁流变液减震器和阀控减震器。磁流变液减震器已在许多领域中得到广泛应用,能够应对不同环境下的减震需求,但仍需解决一些技术难题。而阀控减震器则通过为常规被动式减振器加装减振控制阀来调整减振效果,这种装置构造较简单,不需要提供太多功率,操作成本也较低,更易在工业应用领域推广^[2]。

相关方面的研究吸引了许多学者,取得了一定的研究成果。本研究针对阻尼调节阀进行了深入分析,同时开发了一款配备了阻尼调节阀的液压减震系统,并开展阻尼系数和衔铁质量两个参数的动态仿真分析,该研究能够有效地提高减震器的控制效率。

1 减振器设计

1.1 结构组成

采用电磁阀开关和比例阀门的阻尼调整作用,将电磁阀设置成旁路控制元件,实现对油路开关状态的精确控制,进而有效调整减震器阻尼级别。

基金项目:许昌市科技攻关计划项目(20230213035)

作者简介:李宁(1992~),女,河南漯河人,硕士,研究方向:控制系统及自动化产品设计。

本文在其基础上,把阻尼调节阀都设置成垂直结构置于减震装置内部。控制阀包的每个部件结构见图1。

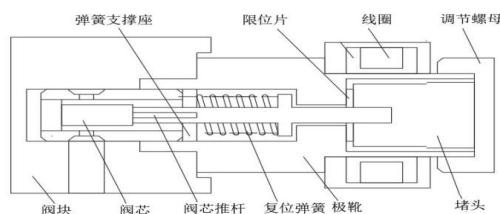


图1 阻尼调节阀结构

采用内螺纹实现调节连接结构,通过旋转调节螺母进行堵头与吸合铁芯位置调节,使吸合铁芯到达相应位置。将吸合铁芯与阀杆连接后,再控制阀杆与阀体连接,在阀体与磁极靴末端间通过螺纹相连,确保导套与弹簧底座形成紧密贴合的状态,并在弹簧底座与阀杆连接处安装回弹弹簧,为吸合铁芯结构起到支持作用。

在执行连续调节时,需为减震器内置比例阀,以实现精确调节和迅速响应性能,同时该控制方法所需维护成本也较低,能够兼容大流量和高压工作状态,因此成为伺服阀的关键替代部件。采用电磁阀开关和比例阀门的阻尼调整作用,将电磁阀设置成旁路控制元件,实现对油路开关状态的精确控制,进而有效调整减震器阻尼级别。

1.2 阻尼调节原理

按照设定比例将传感器信息转化为电信号,进而通过电流、电压参数激活电磁铁,产生磁场,对磁

性材料施加电磁吸引力,进而在衔铁与磁极之间产生吸引力。当电磁力大于弹簧预设作用力时,阀芯受到衔铁载荷作用开始移动,从而调整进出油孔的流量和压力。随着阀口开度增加后,流体进入了更大流动区域,阻尼器呈现“软”的阻尼特性。相反,随着阀门开口尺寸的减小,流体进入更小流动区域,阻尼器呈现“硬”的阻尼特点。

2 仿真过程

2.1 动态模型

阻尼式比例阀绕组属于感抗型元件,当发生瞬态改变时,同时受线圈电感值和组成结构诸多因素的综合影响。建立以下的电压表达式:

$$u(t) = i(t)R + L_d \frac{di(t)}{dt} + K_v \frac{dx(t)}{dt}$$

式中, $u(t)$ 表示瞬态电压, $i(t)$ 表示瞬间电流、 R 表示绕组电阻、 L_d 是瞬态电感。

采用Simulink仿真软件对阶跃响应建模,建立仿真模型见图2所示。

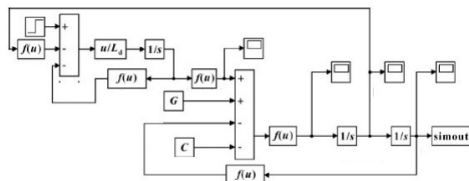


图2 仿真模型

2.2 参数优化

2.2.1 阻尼系数

对于实际控制过程,阀芯被油液完全浸没。为了降低阻尼值,可在阀芯上开凿油道或是在衔铁与导套间扩大径向间隙。阀芯运动速率提升时,阻尼值则保持线性规律上升,这一变化过程与阀口的开合程度及压差无关。当激励电压固定在22V,阀口压差维持在1MPa时,通过设定不同的阻尼值,得到了如图3所示的比例阀调节结果。

在各个阻尼值条件下,阀芯启动时间大致相同,但阀芯的运动形态却有所差异。当阻尼值增加时,阀芯上升时间也有所延长。同时观察到,阻尼为0.05Nmm的情况下,阀芯有较大振动,电枢运动速度明显增加,导致反电势增大,限制了电磁力,使阀芯运动状态波动。

2.2.2 衔铁质量

采用各类材料制造或调整衔铁组件结构形式

时,其质量表现出显著的区别。本研究利用重量分别为0.061、0.094、0.122以及0.156kg的衔铁组件开展测试,在确保其余参数保持不变的前提下,开展动态模拟实验,结果如图4所示。观察图4可以看到,各条曲线都具有很高的重复度。当衔铁组件达到更大重量时,阀芯能够更快速实现触发反应,这主要是由于阀体采用垂直布局结构,衔铁的重力能够对弹簧的预压力产生抵消作用;而随着衔铁重量进一步增加,阀芯需要更多时间进行上升及响应动作,这是由于衔铁重量增加导致其运动惯性显著增大所造成。

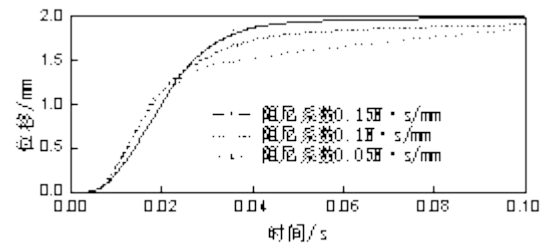


图3 阻尼系数对阀芯动态特性的影响

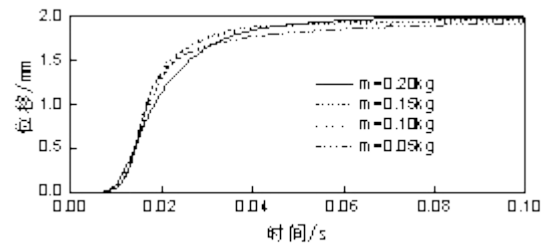


图4 衔铁质量对阀芯动态特性的影响

3 结论

本文开展可调阻尼减振器动态控制及仿真分析,取得如下有益结果:当阻尼值增加时,阀芯上升时间也有所延长。当衔铁组件达到更大重量时,阀芯能够更快速实现触发反应。该研究能够有效优化减振器的阻尼系数和衔铁质量两个参数,但是在面对异常工况的时候存在收敛不足的问题,期待后续引入深度学习方法进行加强。

参考文献

- [1] 周岩,李广,张祥光,等.频变阻尼减振器对机车横向动力学性能的影响研究[J].铁道机车车辆,2024,44(05):19-26.
- [2] 郑志斌,曲宝军,张广世.汽车阻尼连续可调减振器先导阀参数对其性能的影响[J].液压与气动,2024,48(08):46-55.
- [3] 谢方伟,周锐,王登帅,等.液压减振器用比例阀动态特性仿真研究[J].机床与液压,2021,49(01):99-103.