

一、立题依据

1. 课题来源

本课题来源于爱思恩梯大宇汽车部件（昆山）有限公司与某企业的合作项目。

2. 选题依据和背景情况

随着我国汽车工业的高速发展，国内汽车保有量大幅增加，消费者和生产者也更加关注汽车的行驶平顺性和操控稳定性等重要性能指标。而减振器对这些性能指标有着极其重要的影响，它能有效的抑制弹簧吸振后反弹时的振荡，迅速衰减振动，起到减振的作用，改善汽车的行驶平顺性和操控稳定性。

在减振器的实际生产和使用中，经常会因阀系及阻尼力调节不当，引起减振器的节流异响。即当活塞运行剧烈，减振器内部液压油在通过阀节流时运动很快，易形成高速喷流，发出“咻咻”的声音。而我国的减振器设计和生产能力目前仍然很低，大量的技术均来源于国外，加上传统的阻尼特性和阀系配合是通过试验得到的，需要耗费大量人力、财力和时间，故为能提高国内减振器设计水平并降低试验成本的减振器阀系配合及阻尼特性的仿真就成了一项十分重要而且紧迫的研究课题。

3. 课题研究目的

本课题的研究目的主要包括以下几个方面：

- 1) 分析阀片的结构和变形对阻尼特性的影响，建立最合适的阀系结构，寻找汽车最佳行驶平顺性时对应的减振器阻尼特性值；
- 2) 借助 ANSYS/CFD 软件，根据减振器内腔中油液的弹性模量、粘度、流动状态和阀系中复原、压缩阀片的挤压变形等因素，拟建立阀片变形与阻尼力之间的关系模型；
- 3) 借助 ANSYS/DYNA 软件，综合考虑减振器阻尼特性影响参数，如流速与压力分布、阀系变形、油液温度等，拟建立流固耦合动力学模型；
- 4) 借助 HYPERWORKS 软件，对阀片进行分析，拟建立阀片变形与阻尼力大小的关系模型，指导阀片的设计及其优化；
- 5) 利用 HYPERWORKS 软件完成主要结构件的强度、刚度及模态分析，拟完成结构件的优化设计。

4. 工程应用价值

本论文的理论意义和实际应用价值在于：

- 1) 本课题综合减振器内部多重因素分析，拟建立流固耦合动力学模型，为分析及寻找最佳阻尼特性值提供了研究基础；
- 2) 本课题拟借助 ANSYS/CFD 软件，对复原和压缩行程中减振器油液的速度特性进行分析，为研究减振器流场特性和压力分布提供了理论依据，克服了经验分析该特性的模糊性缺点，提供可操作的技术途径；
- 3) 拟借助 ANSYS 软件建立阀片变形与阻尼力大小的关系模型，指导阀片的设计及其优化，然后进行少量实验验证，可大大减轻工作量，节约实验时间和成本，而且能得到更好的预期效果；
- 4) 通过优化主要结构件的强度和刚度，为减振器性能测试实验验证提供了便利条件，节约设计和优化成本；
- 5) 根据模拟分析结果合理设计实验，将实验结果与仿真结果进行对比分析，形成新的设计方法和准则，指导产品的改进设计和新产品的研发。

二、文献综述

1. 国内外研究现状、发展动态

1.1 背景

随着汽车行业的发展，汽车行驶过程中产生的振动已经成为制约汽车发展的重大障碍。汽车行驶过程中产生的振动严重将降低汽车的舒适性、稳定性安全性降低人们乘坐汽车时的享受，汽车零部件的使用寿命也会大大缩短。因此，在人们对汽车舒适和安全性要求越来越高的情况下，汽车减振器的重要性也愈加凸显，并且研发结构和性能满足汽车高速运行的筒式减振器也已经成为汽车领域继续解决的问题^[1]。

筒式减振器传统的设计方法主要是依据工作人员的设计经验来确定结构参数，然后通过试验进行参数反复的修正。在产品阶段，首先试将不同结构参数的减振产品安装到对应的车型上，通过试验，对产品最重要的结构参数进行多次调整、开发以提高其匹配性^[2]，然后在测试平台上对其进行各项性能检测和寿命循环测试等，这些工作将花费大量的成本。装配阻尼器的厂家还要验证阻尼器的质量和技术参数、经济寿命。如果在这些阶段出现问题，就要反复进行测试直到车辆制造厂商满意，这导致成本的极大浪费^[3]。同时，减振器生产企业目前只是把性能测试作为减振器的质量评判手段，还未能完全掌握并从中发现工艺问题，从而改进设计方法和加工工艺。因此，建立反映减振器性能的参数化模型，如阻尼特性或速度特性及摩擦力的参数化模型，并通过调整模型的相关参数，观察仿真出特性曲线变化情况，分析减振器重要尺寸参数对减振器性能的量化影响，这对减振器的设计及性能评价将会产生很大的影响。

1.2 国内外研究现状

目前，国外对减振器阻尼特性仿真的建模方法及计算展开了大量的研究工作，国内学者也开始逐步进入该领域，并取得了不少成绩，积累了丰富的研究经验^{[4][5]}，对我国减振器事业的发展做出了不懈努力，使得国产减振器在设计 and 生产水平方面得到逐步提高。

1.2.1 国外研究现状

国外学者对减振器阻尼特性数学模型的研究主要分为三大类：物理参数化模型、等效参数化模型以及非参数化模型等。

1) 物理参数模型：

物理参数模型考虑了减振器内腔中减振液的流动状态和阀系中复原、压缩阀片

的挤压变形等，然后建立流固耦合动力学模型。这种模型既可用于预测减振器特性，也可用于振动仿真和汽车系统动力学分析。该模型可分为集总参数模型和分布参数模型，目前所建立的物理参数模型大多属于集总参数模型。

1970 年代后期，Lang 建立的某双筒式减振器的集总参数模型共含 83 个参数^[6]，该模型用于研究减振器的高频特性畸变问题。Lang 的模型以及其开展的仿真分析工作代表了该年代减振器数学建模和仿真分析技术的水平，但是该模型的进一步完善尚需要解决两方面的问题：节流阀附近流体场的精确分布及工作腔室之间气体流动的模型。文献考虑了温度的影响建立了参数模型^[7]。多数文献建立的数学模型大多利用实验测试的结果来得其数学模型中所需要的未知参数。所以该方法不利于产品开发阶段的预测与性能评估。随着计算机技术的发展，采用数值方法建立及求解减振器的分布参数模型将逐渐成为可能。

由于计算条件及理论研究水平的局限，目前减振器分布参数模型的建立和求解还有一定的难度，所以有些学者采用计算仿真的方法如 FEA(Finite Element Analysis)，结构有限元分析)和 CFD(Computational Fluid Dynamics)，计算流体动力学)等方法在设计阶段去辅助建立集总参数化和分布参数化混合模型，如文献^[8]使用流-固耦合(Fluid-Structure Interaction, FSI)功能模块 CFD 软件，对减振器阀系部分流固耦合特性进行了仿真。Lee^[9]对某充气式单筒减振器采用结构有限元的方法(Finite Element Method, FEM)来得到阀片在减振液压力作用下的变形量，然后建立了一个集总参数的数值仿真模型。文献对行程相关的减振器进行分析。若分别使用 CFD 和 FEA 的分析方法去仿真流体动力学及弹性结构动力学特性，将流固耦合动力学问题划分为多步的非耦合问题求解，在提高模型精度的同时减少对实验测试的依赖程度。

建立集总参数化模型时，一般假定复原腔、压缩腔及贮油筒内油液压力是均匀分布的，但实际上一般是非均匀的，尤其是在复原阀系与压缩阀系区域，这种假设会导致数学模型产生一定的误差。同时，该方法的关键模型参数，例如流量系数、弹性阀片缝隙口的最大变形量等是由实验台测试得到，工作量变大的同时，也会引起一定的误差。

由于减振器内部构造及减振液物理化学特性等原因的影响，减振器在工作过程中，其内部容易出现气穴和汽化等不良现象，随之而带来的后果是会产生噪音、冲击，并且会使阻尼特性出现迟滞现象，已有学者对其做过深入的研究。

伴随着计算机技术及液固耦合动力学理论的发展,已经出现了非线性的分析软件去求解减振器液固耦合的动力学问题。比如 ANSYS、ADINA 已用来求解液固耦合的动力学问题。使用这种计算机辅助仿真分析软件来了解减振器产品内部流体与固体耦合的力学问题,会成为减振器产品开发与设计、了解其内部液固耦合的重要方法。

2) 等效参数化模型:

等效参数化模型^{[10][11]},此种模型没有考虑减振器的工作过程及其内部结构,而是将其内部工作特性抽象为具有不同力学特性的物理元件的组合,如阻尼元件、摩擦元件、弹簧元件等。简化了结构,更容易让人理解它的工作原理。

在 Lang 的模型基础上,为了能够简化其模型,较好地表达减振器的非线性特性,且能够体现减振器的迟滞特性, Karadayi 和 Masada 采用了将减振器等效化为由弹性元件、阻尼元件、间隙及摩擦元件等组合而成的力学模型^[12]。

二十世纪九十年代后期, Besinger 和 Cole^[13]等在重型车辆悬架减振器中使用这种简化模型,它包含了 7 个参数,并在活塞速度小于 1m/s,频率小于 10hz 的范围下进行仿真,其仿真结果与实验测试结果吻合的较好。

由于减振器的阻尼特性在不同工况(如不同的工作速度和不同激振频率)下,非线性特性区别较大,并且随着阀片的开启状态表现不同。所以,低频低速与高频高速下要选取不同的力学元件,并根据实际工作状态进行参数的拟合。

3) 非参数化模型:

非参数化建模又被称为黑箱模型,它不考虑减振器的内部结构,不使用简化的物理元器件,而主要依赖于实验测试结果,并使用查表或拟合的方法来得到阻尼特性的数学模型。非参数化建模比较典型的方法是神经网络法和恢复力曲面法(Restoring Force Surface, RFS)。恢复力曲面法是比较成熟的,它使用多运动状态参数来表达减振器阻尼力函数,并将试验数据用来绘制曲面图来直观的表达减振器的阻尼特性^{[14][15][16]}。

此类建模方法目前存在的主要缺点就是需要进行大量的实验测试,它是基于实验分析,不考虑实际结构的内部工作过程,适合整车分析和生产过程质量控制,由于以实验为基础,注重的是仿真结果,没有对减振器重要参数的分析,对设计开发减振器的意义不大^[17]。

1.2.2 国内研究现状

国内（研究人员）参考了一些国外的研究成果，在国外建模基础上对具体减振器也建立了一些简化的物理参数模型^{[18][19][20][21]}、等效参数化模型^{[22][23]}和非参数化模型^[24]。

另外还有大量学者对等效参数化模型也进行了研究，主要是将国外的建模方法应用到国内车辆减振器的建模上，且基本被掌握，对于非参数化建模，目前国内还仅仅局限于简单的拟合应用。冯雪梅^[25]对减振器内部流体特性进行离散分析，并考虑了流体的粘度、压力、温度等特性建立了阻尼力的数学模型。Richard^[26]等建立了 Magic Formular 阻尼力数学模型，它包含 8 个具有明确物理意义的参数，且与减振器结构参数相关，可作为研发设计人员结构设计时的参考，具有一定的物理意义。张峻青等^{[27][29]}用计算流体力学的方法和有限元分析的方法，对双筒减振器建立了其非线性的数学模型，但是这些模型求解复杂。同济大学的祁宏钟^[28]对某悬架减振器进行了分析，运用大挠度及小挠度方程、忽略掉内部摩擦力，没有考虑对于减振器性能影响较大的油液的可压缩性，建立了仿真模型，并将仿真模型与实验曲线进行对比，得到了较为满意的结果。檀润华、陈鹰等人^[29]以国产的夏利汽车减振器作为研究对象，采用 Besinger 数学模型结构，并通过实验来确定 Besinger 模型中的参数值，建立了减振器的数学模型，并通过采用不同频率的方式进行测试比较，其实验结果与仿真曲线基本吻合。尹忠俊、韦辉等人^[30]利用机械动力学仿真软件 ADAMS 及内置液压模块 ADAMS/Hydraulics 液压模块建立双筒式液压减振器的机械与液压耦合仿真模型，在 ADAMS/Hydraulics 中使用双向作用液压缸来模拟减振器工作缸，用一定刚度的单向阀模拟复原阀和压缩阀的开启，节流阀模拟常通孔，利用油箱模拟工作缸的上腔和储液腔，并通过执行元件液压缸来实现液压系统和机械系统的耦合^[31]。周长城、顾亮对节流阀片进行力学分析，建立了节流阀片弯曲变形的小挠度微分方程，并提出了长城系数，简化了方程的结构，并对多片阀片叠加时，提出了当量厚度的概念并提出了其数学表达公式，这对阀片设计及改进提供了理论指导^[32]。刘建勇、顾亮等采用仿真软件 CFD 中的 Fluent 对减振器内部的阻尼孔等节流通道的进行了模拟分析，确定了阀系中各个结构部分对阀系节流压差的影响作用，并提高了节流仿真分析的效率，该方法对减振器产品的研发设计奠定了一定的基础^[33]。何联格使用 ANSYS Workbench 软件，采用软件内部的动网格技术，并对固体模型施加载荷，进行瞬态动力学仿真来完成单向流固耦合分析，得到了阀片的应力应变分布、阀片的振动加速度幅值及减振油液的流场分布，通过该分析，可更

好地了解减振器的工作状态^[34]。李小波采用有限元的流固耦合分析方法，运用 ADINA 软件，对固体模型和液体模型建立了流固耦合的动力学模型^[35]。对复原和压缩行程中减振器油液的速度特性进行了研究，重点分析了油液的流场特性及油液的压力分布，其仿真模型与实测结果吻合较好。

1.3 汽车减振器发展趋势

在人们对汽车减振器要求也越来越高的背景下，汽车减振器在未来必然自适应可调减振器、向复合型减振器以及新型减振器的方向发展。

1.3.1 自适应可调减振器

自适应可调减振器的结构由传感器、控制器和执行机构三个部分组成。减振器产生的阻尼不仅可以实现分级调节，还可以实现连续调节，减振器的可调特性可通过调节阻尼特性有电控执行器实现，或者电控执行器调节改变节流阀通流面积实现。自适应可调减振器的关键在于能否对阻尼实现不间断的调节，既减振器可依据汽车振动情况连续的调节阻尼，从而达到最好的减振效果。自适应可调减振器已经投入市场应用，但是由于技术的不完善，该技术还未被完全推广应用。

1.3.2 复合型减振器

复合型减振器的普通双筒液压减振器发展的必然结果。复合型减振器继承了普通液压减振器的优点，也弥补了普通液压减振器的缺点，因此复合型减振器必将成为汽车减振器未来发展的趋势。例如充气式双筒液压减振器，它不仅提高了普通液压减振器的外特性，减振器的临界速度也得到极大的提高，减振器出现外特性畸变的几率更低，降噪性能更优越，静摩擦力小、稳定性高。

1.3.3 新型减振器

新型减振器主要指借助电磁原理设计而成的减振器，由于电磁流变液体和电磁流变弹性技术的发展，电磁流变在理论上已经可以任意控制阻尼的大小。但是该技术仍处于理论研究的起步阶段，理论也不完善和不成熟，与减振器生产实践也存在很大的差距。电磁流变减振器仍需要广大科研机构 and 科研人员进行深入的开发和研究，逐渐完善理论，并应用于实践，促进汽车减振器行业的发展。

1.4 总结

在减振器建模和仿真分析领域，中国建立了一些简化的参数模型并进行了一些探索和研究。但建立的参数模型中对减振器的实际结构做了较大简化，也未深入考虑介质工作温度、摩擦力等因素的影响。有关减振器参数化模型的研究主要是将国

外的建模方法应用于国产汽车悬架减振器的建模，其应用研究有待于进一步开展。对于非参数化建模方法的研究目前仅限于对实验测试结果的简单拟合。

本课题从研究不同工况下阀片附近流场压力分布特征，建立阀片变形与阻尼力之间的关系模型入手，再通过对减振器内部的阻尼孔等节流通道进行了模拟分析，确定阀系中各个结构部分对阀系节流压差的影响，综合考虑油液工作温度对减振器工作特性的影响，运用非稳态流场-非线性弹性结构的动力学耦合的解耦技术，全面系统地从根本上解决减振器在实际生产和使用中，因阀系及阻尼特性调节不当，引起的减振器节流异响问题。

本课题通过对减振器阻尼特性与产品结构的分析，建立了流固耦合动力学模型，形成完整的分析方法，为减振器阻尼特性的仿真分析提供了全新的可操作的技术途径。同时根据课题中，通过对减振器阀系调整从而调节减振器阻尼特性的实验，可得到有效的减振器阻尼特性调节方法，对减振器匹配问题的解决提供一定参考和新的思路。

2. 所阅文献的查阅范围及手段

查阅文献主要来源于同济大学图书馆馆藏文献和电子资源。使用的电子资源包括教学参考书光盘、外文科技图书、维普中国科技期刊、中国学术期刊、万方数字资源系统、SAE 论文和德国相关学术论文集。

3. 主要参考文献

- [1]刘爱红, 贺阳. 摩托车减震器性能评价与判定[J]. 摩托车技术, 2008,(2):30-33.
- [2]Duym S W R .Simulation Tools, Modeling and Identification for an Automotive Shock Absorber in the context of Vehicle Dynamics .Vehicle System Dynamics.2000,33.
- [3]范理查德. 基于 Magic Formula 的新减震器数值模型及其在铁道车辆动力学中的应用[D]. 北京交通大学, 2005.
- [4]吕振华, 李世民. 筒式液阻减震器动态特性模拟分析技术的发展[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2002,42(11):1532-1536.
- [5]张文, 邓楚南. 筒式液力减震器性能模拟仿真技术的发展. 专用汽车, 2006, (12): 36~39
- [6]Lang H H. A study of the characteristics of Automotive Hydraulic Dampers at High Stroking Frequencies[D]. USA: Univ Michigan, 1977.

- [7]A DUYM S.REYBROUCK K. Physical characterization of nonlinear shock absorber dynamics[J].European Journal of Mechanical and Environmental Engineering, 1998,43 (4): 181-188.
- [8]Tallec P , Mouro J. Fluid structure interaction with large structural displacements[J].Computermethods in applied mechanics and engineering.2001,190:3039-3067.
- [9]Lee K. Numerical modelling for the hydraulic performance prediction of automotive monotubedampers[J].Vehicle System Dynamics.1997,28:25-39.
- [10]Karadayi R, Masada G Y. A nonlinear shock absorber model[J].ASME,1989,AMP 80,DSC12:149-165.
- [11]Besinger F H, Cebon D, Cole D J. Damper models for heavy vehicle ride dynamics[J].Vehicle SysDyna,1995,24:35-64.
- [12]Karadayi R,Masada G Y.A Nonlinear Shock Absorber model[J].ASME.1989:149-165.
- [13]Besinger F H, Cebon D, Cole D J. Damper model for Heavy vehicle Ride dynamics[J].VehicleSystem Dynamics.1995(24):35-64.
- [14]Worden K. Data processing and experiment design for the restoring force surface method, part I:Integration and differentiation of measured time data[J].Mechanical Systems and SignalProcessing.1990,4(4):295-319.
- [15]Audenino A,Belingardi G,Garibaldi L.An application of the restoring force mapping method for thediagnostic of vehicular shock absorbers dynamic simulation behaviour[C].Italy: Dipartimento diMeccanica del Politecnico di Torino:1990.
- [16]Schiehlen W,Hu B.Spectral simulation and shock absorber identification[J].International Journal of Non-Linear Mechanics.2003,38:161-171.
- [17]赵锋. 基于 MATLAB 环境的汽车减震器阻尼特性仿真分析[D]. 华中科技大学, 2007.
- [18]陈耀钧. 轿车液阻减震器阻力特性模拟计算及分析[J]. 汽车技术, 1995,(10):7-13.
- [19]刘荣胜. 减震器工作过程的数值模拟及其应用[D]. 北京:清华大学, 1997.
- [20]李希文. 液压减震器动态特性的计算机仿真[J]. 航空学报. 1999:75-79.
- [21]Qi H Z,Lei Y C,Wang J.Nonlinear mathematical model for a kind of vehicle shock absorbers[A].Proceedings of the 11th International Pacific Conference on Automotive Engineering[C]. Shanghai:Socof Automo Eng of China,2001.
- [22]檀润华, 陈鹰, 赵凡等. 汽车减震器新型数学模型的研究[J]. 汽车工程. 1998,20(2):113-117.

- [23]潘立登, 潘仰东. 系统辨识与建模. 北京: 化学工业出版社, 2003,81-82.
- [24].Xiao J.System identification for transit buses using a hybrid genetic algorithm: [Dissertation].Pennsylvania:The Pennsylvania State University,2002,63-72.
- [25]冯雪梅, 刘佐民. 一种新的汽车液力减震器阻力特性模拟模型[J]. 振动与冲击. 2003,22 (2): 44-49.
- [26]Kasteel R,Wang C G,Qian L X,etal.A New Shock Absorber Model with an Application in VehicleDynamics Studies.SAE paper 2003-01-3411,2003,305-311.
- [27]张峻青, 金达峰等. 双筒减震器非线性数学模型的研究[J]. 工程机械. 2002, (11): 16-19.
- [28]祁宏钟, 雷雨成, 吴云飞等. PL125 悬架减震器的精确建模及仿真[J]. 机械科学与技术, 2002,21(5):714-716
- [29]檀润华, 陈鹰, 赵凡等. 汽车减震器新型数学模型的研究[J]. 汽车工程. 1998,20(2):113-117.
- [30]尹忠俊, 韦辉, 陈兵等. 双筒式减震器阻尼特性仿真研究[J]. 机床与液压, 2009,37(10):232-233.
- [31]MSC 公司. UsingADAMS/Hydraulics[G],USA: 2000.
- [32]周长城, 顾亮. 减震器节流阀片拆分为多片叠加的设计方法[J]. 农业工程学报, 2006,22(11):121-125.
- [33]刘建勇, 顾亮等. 双筒式液力减震器开阀前内部流场的 CFD 仿真分析[J]. 机械设计, 2010,27(10):43-46.
- [34]何联格. 液力减震器流固耦合仿真与结构异响分析[D]. 重庆: 重庆大学, 2011.
- [35]李小波. 液力减震器流固耦合(FSI)动特仿真研究[D]. 浙江工业大学;2010.
- [36]黄志刚, 郑慕桥. 摩托车悬架的动态仿真[J]. 摩托车技术. 1996, 04: 1-5.
- [37]沈辉袁银南, 郭晨海. 摩托车悬架系统的仿真设计[J]. 江苏理工大学学报(自然科学版). 2001, 22,(1):1-5.
- [38]刘爱红, 贺阳. 摩托车减震器阻力速度特性曲线常用种类及应用[J]. 托车技术, 2007,(6):62-66.
- [39]周长城, 顾亮, 王丽等. 节流阀片弯曲变形与变形系数[J]. 北京理工大学学报, 2006,26(7):581-584.
- [40]郑晓静. 圆薄板大挠度理论及应用[M] . 吉林: 吉林科学技术出版社, 1990.

[41]周长城,顾亮,王丽等.节流阀片弯曲变形与变形系数[J].北京理工大学学报,2006,26(7):581-584.

[42]Yuhang Chen,Konghui Guo,Yehai Yang etc.Physical Modeling of Shock Absorber Using LargeDeflection Theory.SAE Int.J.Passeng.Cars—Mech.Syst.5(1):2012.

三、研究内容

1. 学术构想与思路、主要研究内容及拟解决的关键技术

1.1 学术构想与思路

本文以某轿车后双向作用筒式减振器为主要研究对象，利用 CATIA 软件建立三维实体模型，借助 ANSYS Workbench 仿真平台对阀片进行分析，研究不同工况下阀片附近流场压力分布特征，建立阀片变形与阻尼力之间的关系模型；利用 ANSYS/CFD 软件对减振器内部的阻尼孔等节流通道进行了模拟分析，确定了阀系中各个结构部分对阀系节流压差的影响作用，并将仿真结果与实验结果进行对比分析，为筒式减振器的设计及优化提供理论依据。

1.2 主要研究内容

- 1) 综合考虑工作速度、通道面积及油液温度等因素，研究阀系结构及变形对减振器阻尼特性的影响，拟建立双向作用筒式减振器的实体模型；
- 2) 根据减振器内腔中油液的弹性模量、粘度、流动状态和阀系中复原、压缩阀片的挤压变形等因素，拟建立流固耦合动力学模型，并利用 ANSYS/DYNA 软件进行分析，寻找汽车最佳行驶平顺性时对应的减振器阻尼特性值；
- 3) 拟建立减振器内部压力分布参数模型，借助 ANSYS/CFD 软件，对复原和压缩行程中减振器油液的速度特性进行研究，分析通道截面积大小、布置位置等因素对油液的流场特性及压力分布的影响；
- 4) 借助 HYPERWORKS 软件，对阀片进行分析，建立阀片变形与阻尼力大小的关系模型，指导阀片的设计及其优化；

1.3 拟解决的关键技术

- 1) 非稳态流场-非线性弹性结构的动力学耦合的解耦技术；
- 2) 油液工作温度对减振器工作特性的影响。

2. 拟采取的研究方法、技术路线、实施方案及可行性分析

2.1 研究方法

1) 理论解析

综合考虑减振器工作速度、通道面积、油液温度及阀系变形等影响因素，分析寻找最佳的减振器阻尼特性，再结合减振器基本参数，建立双向作用筒式减振器的实体模型。

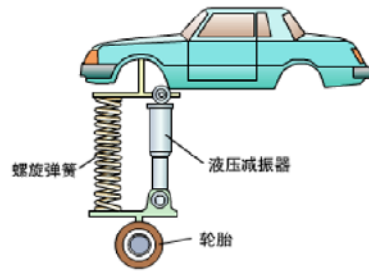


图 1 悬架示意图

2) 数值模拟

数值模拟方法能准确地反映减振器的工作过程，预报流场流速、压力分布特性，给出结构件的应力、应变及位移分布特征。基于流体力学理论，拟建立流固耦合动力学模型，研究减振器内腔中油液的流速和压力分布、阀系结构参数、阀片的挤压变形、活塞杆直径、油液温度及摩擦力对减振器外特性的影响及敏感程度。

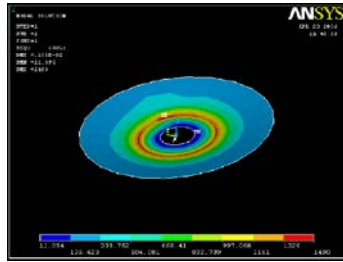


图2 阀片的应力分布云图

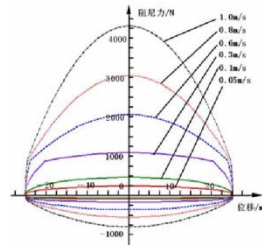
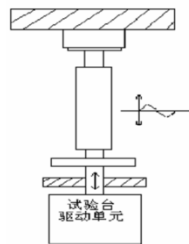


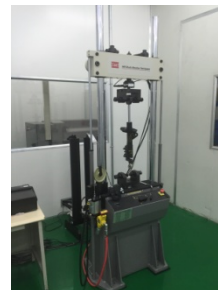
图3减振器示功图

3) 实验验证

结合理论解析的结果，制造与实体数模完全相同的减振器样品，再结合仿真分析的条件安排减振器阻尼特性实验，通过实验验证仿真分析结果的真实性和可靠性，以此来证明本文所提出的减振器阻尼特性仿真分析方法对指导实际生产有重要意义。



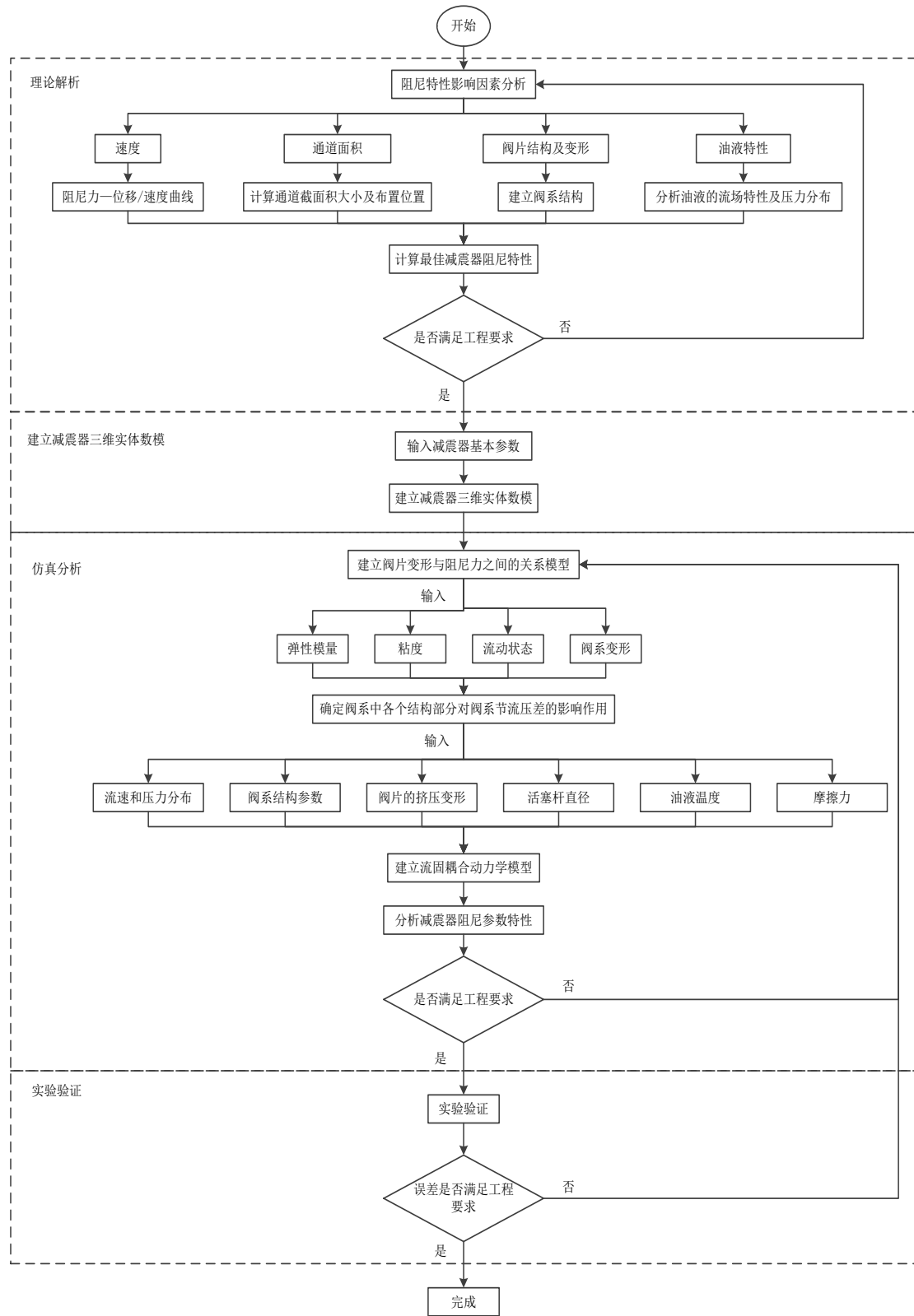
(a)



(b)

图 4 减振器阻尼特性台架结构图 (a) 和实物图 (b)

2.2 技术路线



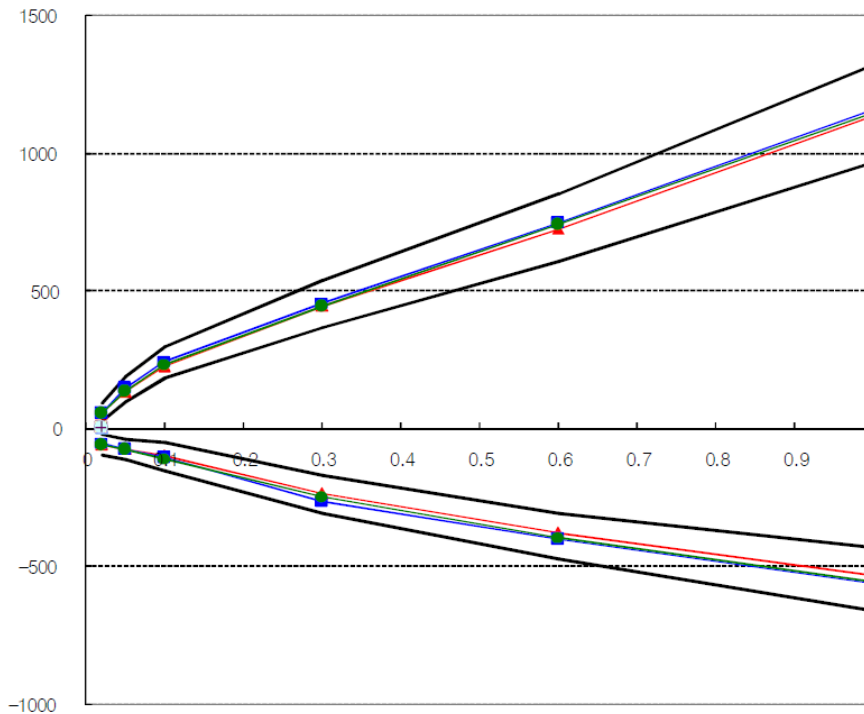
2.3 仿真和实验实施方案

仿真和实验方案的设计主要考虑减振器的速度-阻尼特性和位移-阻尼特性展开,用较少的实验次数去满足仿真结果的验证要求。本课题所设计的实验方案如下:

1) 速度与阻尼的关系实验

表 1 速度与阻尼力的关系

No.	Rebound (m/s)						Compression (m/s)						Gas force
	0.02	0.05	0.1	0.3	0.6	1	0.02	0.05	0.1	0.3	0.6	1	
Target	61	144	240	450	728	1143	-58	-77	-103	-238	-389	-548	-100
	±33	±46	±59	±85	±124	±176	±36	±36	±52	±68	±84	±116	±30
	94	190	299	535	852	1319	-94	-113	-155	-306	-473	-664	-130
	28	98	181	365	604	967	-22	-41	-51	-170	-305	-432	-70
1	56	133	226	445	726	1133	-58	-74	-99	-237	-379	-534	-109
2	54	146	245	456	744	1159	-51	-77	-106	-263	-402	-561	-107
3	53	135	235	442	740	1144	-58	-79	-109	-245	-395	-559	-106
Ave.	53	129	224	427	709	1110	-48	-76	-109	-270	-437	-610	-107
Max.	56	146	245	456	744	1159	-19	-57	-98	-237	-379	-534	-106
Min.	50	112	205	402	672	1040	-58	-87	-121	-296	-490	-682	-109



2) 阻尼力

表 2 阻尼力

Test Item	Test Stroke (mm)	Test Speed (m/s)	Test Spec. (N)		#1 Test Result					
			-40 °C	80 °C	20 °C	-40 °C	80 °C	Judgment		
Damping Force	Rebound	25	300 % max (at 20 °C value)	70 % min. (at 20 °C value)	134	403	201%	102	76%	O.K.
					227	512	126%	185	81%	O.K.
					445	765	72%	397	89%	O.K.
	Compress	25			75	126	68%	65	87%	O.K.
					99	184	80%	91	92%	O.K.
					238	361	52%	211	89%	O.K.

2.4 可行性分析

上述方案是可行的,理由如下:

- 1) 申请人具有多年的减振器从业经验，完成了多款双向作用筒式减振器的设计、试制等工作，积累了大量的工程实践经验；
- 2) 申请人已熟练掌握数值仿真技术，且公司已有课题所需要的仿真软件，能够完成仿真分析任务；
- 3) 公司有减振器实验台架；
- 4) 课题来自与某企业合作的项目，资金支持上能得到良好的保障。

因此，本课题切实可行。

3. 预期目标

建立合理的阀片变形与阻尼力之间的关系模型，确定阀系中各个结构部分对阀系节流压差的影响作用，并通过实验验证仿真结果，证明仿真分析方法和结果具备参考价值，解决因阀系及阻尼力调节不当，引起减振器的节流异响问题。为筒式减振器的设计及优化提供理论依据。

四、研究基础

1. 所需工程技术、研究条件

- 计算机一台
- 专业软件 CATIA、ANSYS/CFD、ANSYS/DYNA、HYPERWORKS 等
- 项目所用参数
- 相关实验设备等

2. 所需经费，包含经费来源、开支预算（工程设备、材料须填写名称、规格、数量）

经费来源：自筹

项目	费用（元）
书籍、资料购买、打印和复印	1500
通讯（电话、上网、传真）	1000
软件学习	5000
实验	企业提供
总计	7500

五、工作计划

序号	阶段及内容	工作量估计 (时数)		起讫日期	阶段成果形式
1	查阅资料建立必要的知识库	300		2016.02-2016.04	建立汽车减振器阻尼特性仿真分析与实验研究优化分析相关知识库
2	理论分析, 建立数模	350		2016.05-2016.06	通过对油液特性及阀系变形参数分析, 寻找最佳阻尼特性
3	建立阀片变形与阻尼力大小的关系模型	300		2016.07-2016.08	分析通道截面积大小、布置位置等因素对油液的流场特性及压力分布的影响
4	建立流固耦合动力学模型	300		2016.09-2016.10	指导阀片的设计及其优化
5	结构件优化设计	300		2016.11-2017.01	完成主要结构件的强度、刚度及模态分析
6	实验验证	400		2017.02-2017.04	将实验结果与仿真结果进行对比分析, 验证仿真结果的正确性和可靠性
7	总结研究工作, 撰写课题, 准备答辩	400		2017.05-2017.07	撰写毕业课题、答辩
		合计	2350		

同济大学硕士研究生学位论文选题报告评分表

评审项目	权重	评分标准		得分(百分制)
一、选题依据(A)	30%	80~100分	选题有较强的理论意义、实用价值，深刻的学术研究内涵。	
		60~80分	选题有一定的理论意义、实用价值，有一定的学术研究内涵。	
		60分以下	选题缺乏理论意义和实用价值。	
二、理论基础和专门知识(B)	20%	80~100分	较好的掌握坚实宽广的理论基础和系统专业知识	
		60~80分	基本的掌握坚实宽广的理论基础和系统专业知识	
		60分以下	未能掌握坚实宽广的理论基础和系统知识	
三、选题难度及先进性(C)	30%	80~100分	研究课题属本学科发展方向并居前沿位置，具有自己独特的思考、研究课题具有较强的先进性	
		60~80分	研究课题属本学科的发展方向，并具有先进性。	
		60分以下	研究课题与本学科的发展方向先进性不明显，难度欠佳。	
四、文字表达(D)	10%	80~100分	条理清晰，分析严谨，文笔流畅	
		60~80分	条理较好，层次分明，文笔较流畅	
		60分以下	写作能力较差	
五、口头报告(E)	10%	80~100分	课题严密、逻辑性强、表达清楚。	
		60~80分	基本概念清晰、层次分明。表达较清楚。	
		60分以下	表达较差	
总分		总分=0.3A+0.2B+0.3C+0.1D+0.1E		

备注：评审专家只对五项指标每一项的最后一栏内打分（百分制），不必计算总分。

评审小组组成：

组成	姓名	职称	单位	签字
导师				
成员				

注：此评分表作为硕士研究生课程成绩单必备的材料之一

年 月 日

六、评审意见

导师（或导师组）对本课题的评价

导师签名_____

年 月 日

评审小组的审查结论

组长_____组员_____

年 月 日

学科专业委员会意见

负责人签名_____

年 月 日