

硅油减振器的参数化设计及有限元计算研究

何康威¹, 邹 磊³, 肖能齐^{2,3*}

(1. 宜都市全鑫精密锻造有限公司, 湖北 宜都 443300; 2. 三峡大学 机器人与智能系统宜昌市重点实验室, 湖北 宜昌 443002; 3. 三峡大学 水电机械设备设计与维护湖北省重点实验室, 湖北 宜昌 443002)

摘 要:以硅油减振器为研究对象,在对硅油减振器组成结构及减振机理进行分析的基础之上,利用 VB.NET 软件开发具有友好型界面参数化输入、参数化设计与建模等功能的硅油减振器集成系统软件;同时利用 ANSYS 软件对集成软件导出的 FA3081040 型硅油减振器三维模型进行力学特性研究,为硅油减振器的参数化设计及其强度计算分析等研究提供理论指导。

关键词:硅油减振器;软件开发;有限元分析;结构分析

中图分类号:U469.33 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-4824(2020)06-0104-05

工程车辆柴油机传动系统在运行过程中,柴油机输出的能量经过联轴器、变速箱、传动轴和车桥系统连续不断地传递至负载,该过程为机械动力学中的多体动力学运动问题。由于柴油机作为典型的弹性系统,柴油机在运行过程中会产生交变扭转力矩,从而使柴油机本身的各质量点间发生相对运动导致扭转变形和应力的产生,扭转振动较大可能导致柴油机曲轴断裂、轴瓦剥落烧损或机体振动和噪声较大。目前为了解决上述问题,主要是采取调整车辆系统的固有频率、改变柴油机发火顺序和和加装扭转振动减振器等三种方式^[1]。硅油减振器具有减小扭转振动振幅,减小激振能量与增加阻尼消耗能量等优点,因此目前被广泛用于柴油机传动系统、发电机组等^[2]。

目前国内外学者和科研机构等对硅油减振器的研究主要集中在减振数学模型与机理、硅油减振器设计与应用、动态匹配以及台架试验等方面^[3-5]。Syrakos 等^[6]通过对硅油减振器的结构特征与减振机理进行研究与分析,利用有限元体

积法模拟了柴油发动机在不同激励频率下硅油阻尼器的减振特性以及硅油的流动特性进行了研究。Zawisza 等^[7]分析了硅油阻尼器的结构特性,提出了基于柴油机幅值最小的硅油阻尼器最佳匹配准则。该方法用于指导柴油机厂家匹配硅油阻尼器。Homik^[8]在对多缸内燃机扭转振动计算分析的基础上,进一步探讨了减振器振动阻尼效率随阻尼粘度变化的规律。刘国凯等^[9]为提高硅油减振器外壳旋压成形合格率,利用有限元法,对硅油减振器的四道次旋压方法进行的没道次进行模拟与仿真分析;同时通过实验验证了该工艺方法的可行性。张立伟^[10]选取传统加工方法制造的硅油减振器与精细制造方法提高减振器的形位公差、工艺尺寸精度以及壳体内硅油填充率等制造的硅油减振器,借助台架试验进行扭转振动测试计算与分析,通过对比分析验证了硅油减振器的精细制造有助于提高减振器的减振效果。上官文斌等^[11]为设计硅油减振器阻尼测试试验机,对所采用的减振器阻尼测试方法进行了阐述;同时根

收稿日期:2020-09-11

基金项目:国家自然科学基金(51975324);三峡大学水电机械设备设计与维护湖北省重点实验室项目(2018KJX08);三峡大学机器人与智能系统宜昌市重点实验室项目(JXYC0007)

作者简介:何康威(1985-),男,湖北宜城人,宜都市全鑫精密锻造有限公司中级机械工程师。

邹 磊(1995-),男,河南驻马店人,三峡大学机械与动力学院硕士研究生。

肖能齐(1987-),男,湖北孝感人,三峡大学机械与动力学院讲师,博士,本文通信作者。

据减振器的减振机理和阻尼测试方法,设计了试验台驱动装置。

本文以某工程车辆传动系统中的硅油减振器为研究对象,对硅油减振器结构组成和减振机理进行研究,利用 VB.NET 软件平台开发具有通用性的硅油减振器参数化设计软件;同时利用 ANSYS 有限元软件对硅油减振器的结构强度和壳体温度分布特点进行计算与分析,为硅油减振器的参数化设计与力学特性研究奠定基础。

1 基于 VB.NET 的硅油减振器参数化设计

1.1 硅油减振器基本组成及其工作原理

硅油减振器主要是由减振器外壳体、惯性环体、壳体盖板、填充于减振器外壳体与惯性环体之间间隙的硅油以及堵塞等部件组成。其中:硅油减振器的外壳体与壳体盖板之间是通过焊接的方式进行连接;壳体的内环向内曲起,形成一个储油槽;在发动机曲轴旋转时,位于减振器外壳体内的惯性环体在外壳体内进行自由回转运动。硅油减振器的结构示意图如图 1 所示。其中 R_2 —惯性环体外环半径,— R_3 —惯性环体内环半径, B —惯性环体的厚度, B_1 —壳体的高度, B_2 —壳体的厚度, R_0 —外壳体外环半径, h —硅油厚度, R_1 —与法兰连接的内环半径。

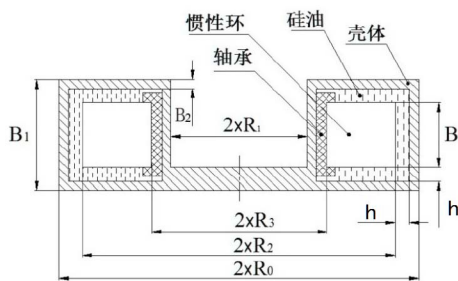
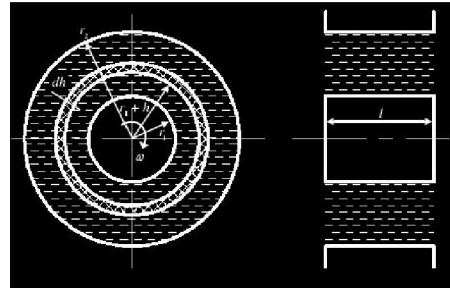


图 1 硅油减振器的结构示意图

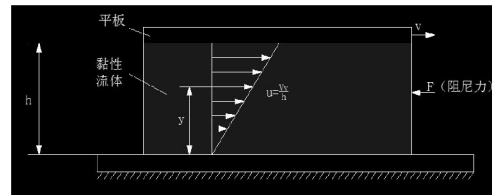
硅油减振器的减振基本原理是当柴油机运转时,安装在柴油机曲轴自由端的硅油减振器随柴油机曲轴一起进行回转运动;硅油减振器壳体内部的惯性环体由于惯性作用,惯性环体并不随着壳体一起同步进行回转运动,从而减振器外壳体与惯性环体之间存在相对运动,填充在减振器外壳体与惯性环体之间间隙的硅油将会产生剪切作用,使得硅油内部产生粘性摩擦力。由于硅油减振器的阻尼作用,将产生阻尼功,把柴油机曲轴在运转过程中扭转振动产生的能量通过阻尼功转换成热能耗散掉,从而达到降低柴油机曲轴扭转振

动的减振目的。

根据硅油减振器的组成结构和硅油在壳体与惯性环体之间的分布特点,为了计算与分析更为直观,可以将其简化为由两块间距为 h 的平行板之间充满粘性系数为 m 的流体介质的基本模型,图 2 为硅油减振器外壳体与惯性环体间充满粘性流体的基本模型。



(a)



(b)

图 2 硅油减振器外壳体与惯性环体间充满粘性流体的基本模型

根据如图 2 (b) 所示的硅油减振器外壳体与惯性环体间充满粘性流体的基本模型和牛顿内摩擦力定律,流体层间的内摩擦力 F 和硅油层之间的切应力(即单位面积上的内摩擦力)可表示为:

$$F = \mu A \frac{d\mu}{dy} \quad (1)$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{d\mu}{dy} \quad (2)$$

式中: μ 为粘性系数, $\frac{d\mu}{dy}$ 为速度梯度, A 为运动板面积。

假定硅油相对运行时做简谐振动,则图 2(b) 所示的减振器的流体平板简化模型的位移 x 和剪切速率 r_m 为

$$x = X \sin \omega t \quad (3)$$

$$r_m = \frac{X \omega \cos \omega t}{h} \quad (4)$$

根据公式(1)~(4),可以分别得到内摩擦力 F 和粘性阻尼消耗的能量 W_h 为

$$F = \tau A = \frac{\mu A v}{h} \quad (5)$$

$$W_h = F v = \frac{\mu A v^2}{h} \quad (6)$$

则系统黏性阻尼力在一个周期内消耗的能量为

$$\begin{aligned}\Delta W &= \int_{t=0}^{2\pi/\omega} \frac{\mu A}{h} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 dt \\ &= \int_0^{2\pi} \frac{\mu A}{h} X^2 \omega \cos^2 \omega t d(\omega t) = \frac{\mu A}{h} \pi \omega X^2\end{aligned}\quad (7)$$

在硅油减振器的径向和侧向间隙中, 硅油产生的径向阻力矩和侧向阻力矩分别为

$$\begin{aligned}M_{cr} &= qF_n R_2 = \rho_n \times \frac{R_2 \omega \Delta A_{ed}}{h} \times 2\pi R_2 B \times R_2 \\ &= 2\pi \times \rho_n \omega \Delta A_{ed} B R_2^3 / h, \\ M_{cl} &= 2 \sum q_i \Delta F_i R_i = 4\pi \times \rho \omega \Delta A_{ed} \omega \frac{1}{h} \int_{R_3}^{R_2} v_l R^3 dR\end{aligned}\quad (8)$$

式中: v_n 为径向运动粘度 (m^2/s); v_l 为侧向运动粘度 (m^2/s), ΔA_{ed} 为振动幅值。

1.2 基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统软件开发

根据硅油减振器的组成结构以及其减振器机理, 利用 VB.NET 软件开发具有友好型界面参数化输入、参数化设计与建模等功能的硅油减振器集成系统软件, 其软件开发的流程图如图 3 所示。

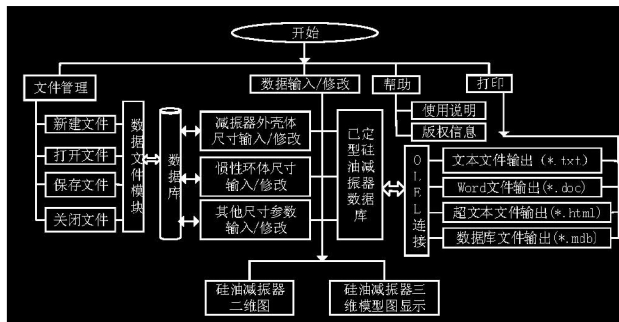


图 3 基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统软件开发流程图

对图 3 所示基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统软件开发流程图进行分析, 软件主要模块及其功能如下:

1) 硅油减振器参数化设计模块。该模块主要包括硅油减振器外壳体的输入/修改、惯性环体的输入/修改以及其他尺寸参数的输入/修改, 图 4 为硅油减振器基本参数输入界面。

2) 数据存储与读取模块。该模块采用在 SQL Server 数据库中建表存储数据, 从而完成在软件运行过程中对数据进行实时的查询、更新和修改等, 如: 硅油减振器外壳体和惯性环体的存储与读取以及相关文档输出等。图 5 为硅油减振器数据存储与读取模块界面。

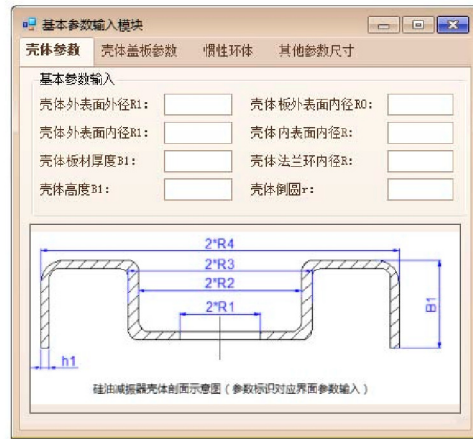


图 4 硅油减振器基本参数输入界面



图 5 硅油减振器数据存储与读取模块界面

3) 绘图模块。该模块根据硅油减振器参数化设计模块相关参数, 通过对三维建模软件 UG 进行二次开发, 可以获得 UG 软件的进程和工作部件代码; 同时通过 VB.NET 与 UG 连接, 将三维建模软件 UG 二次开发的代码引入到基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统中, 从而得到硅油减振器三维模型, 图 6 为硅油减振器三维模型绘图模块界面。

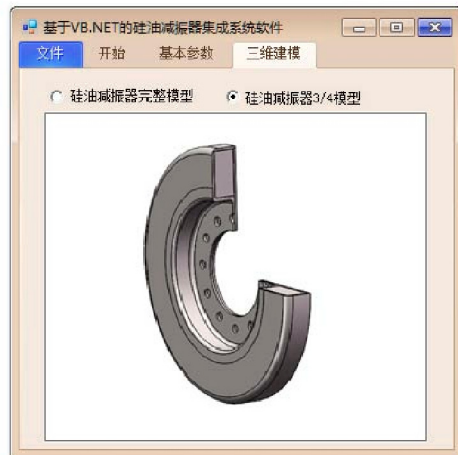


图 6 硅油减振器三维模型绘图模块界面

2 硅油减振器有限元分析

2.1 有限元模型

利用开发的基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统软件,导出 FA3081040 型硅油减振器三维模型。为了 ANSYS 软件对硅油减振器进行计算与分析的快速性和准确性,本文对硅油减振器的较小的突台、微斜角以及微圆角进行适当简化处理;同时选取 FA3081040 型硅油减振器模型的 1/2 作为分析对象。模型导入到 Ansys - workbench 中,对硅油减振器的网格模型采用四面体单元进行划分,得到网格节点数为 112200,单元总数为 57307,FA3081040 型硅油减振器模型网格划分如图 7 所示。

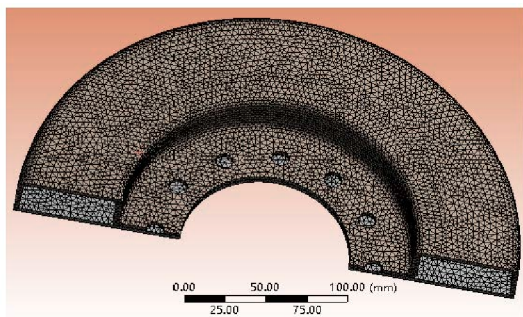


图 7 FA3081040 型硅油减振器模型网格划分

在柴油机运转时,被安装在曲轴自由端的硅油减振器随曲轴一起进行回转运动,而在壳体内部的惯性环体与壳体本身做相对转动。在 ANSYS 计算分析过程中,对假定壳体和背部盖板进行约束,使其固定不动;硅油在运动过程中对壳体产生的扭矩可以简化为,施加一个沿壳体上下表面半径方向变化的液体压强,施加的变应力载荷为 $0.0015R(\text{MPa})$,FA3081040 型硅油减振器边界条件及载荷施加模型如图 8 所示。

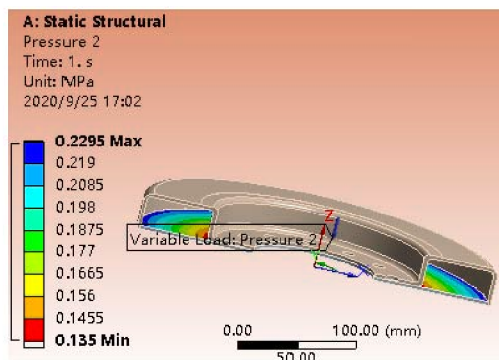


图 8 FA3081040 型硅油减振器边界条件及载荷施加模型

2.2 计算与分析

通过对硅油减振器的减振机理及其工作过程

中的边界条件和载荷特点进行分析,利用 ANSYS 软件对硅油减振器的结构强度进行计算与分析,其计算结果如图 9 和图 10 所示。

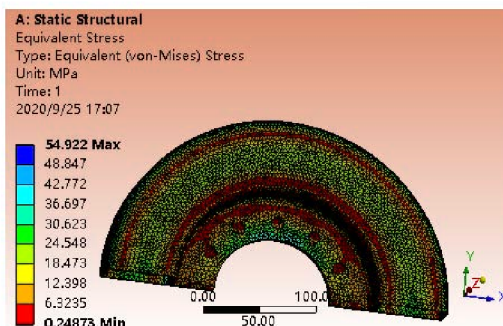


图 9 FA3081040 型硅油减振器应力值分布云图

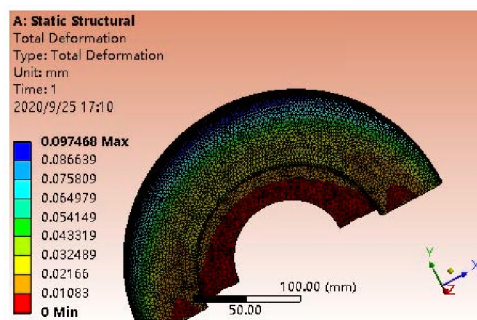


图 10 FA3081040 型硅油减振器变形值分布云图

根据如图 9 和图 10 所示的 FA3081040 型硅油减振器应力值分布云图和变形值分布云图可知:

从对 FA3081040 型硅油减振器的应力和位移变化的结果来看,壳体的应力值分布范围是 $0.25 \text{ MPa} \sim 54.92 \text{ MPa}$ 之间,其应力分布结果均小于结构钢材料的许用应力值;FA3081040 型硅油减振器壳体的位移变形量在 $0 \sim 0.097 \text{ mm}$ 之间,因此 FA3081040 型硅油减振器的结构强度符合设计要求。

3 结论

本文在对硅油减振器的组成结构和减振机理进行分析的基础之上,利用 VB.NET 开发软件和 UG 二次开发进行混合编程;采用模块化法开发了具有友好型界面参数化输入、参数化设计与建模等功能的硅油减振器集成系统软件,为硅油减振器的参数化设计奠定了基础,极大提高了硅油减振器的设计效率。

利用所开发的基于 VB.NET 的硅油减振器集成系统软件,导出 FA3081040 型硅油减振器三维模型。利用 ANSYS 软件对硅油减振器的模型采用四面体网格进行划分,并构建符合实际运行状态的边界条件和载荷,对硅油减振器的力学特

性进行了计算与分析。后续研究可以在参数化设计及有限元计算分析的基础之上, 进一步开展硅油减振器动态匹配设计。

[参 考 文 献]

- [1] XIAO N, ZHOU R, XU X. Vibration of diesel-electric hybrid propulsion system with nonlinear component[J]. Journal of Vibration and Control, 2018, 24(22): 5353-5365.
- [2] XIAO N, XU X, ZHOU R. Study on torsional vibration of RT60 crane transmission system[J]. Mechanics & Industry, 2020, 21(2): 210-219.
- [3] 周瑞平, 汪萌生, 朱俊飞, 等. 基于遗传算法的柴油机硅油减振器动态匹配优化设计方法[J]. 内燃机工程, 2015, 36(2): 68-74.
- [4] 赵旭. 旋转式硅油减振器阻尼测试试验台的开发[D]. 广州: 华南理工大学, 2014.
- [5] 尚培娜. 温度对导热油粘度影响规律的研究[D]. 株洲: 湖南工业大学, 2016.
- [6] SYRAKOS A, DIMAKOPOULOS Y, TSAMOPOULOS J. Theoretical study of the flow in a fluid damper containing high viscosity silicone oil: Effects of shear thinning and viscoelasticity [J]. Physics of Fluids, 2018, 30(3): 030708.
- [7] ZAWISZA M. Energy Loss and the Choice of Damper of Torsional Vibration Combustion Engines [J]. Solid State Phenomena, 2015, 20(8): 188-195.
- [8] HOMIK W. The effect of liquid temperature and viscosity on the amplitude-frequency characteristics of a viscotic torsion damper [J]. Polish Maritime Research, 2012, 19(4): 71-77.
- [9] 张立伟, 苏小向. 硅油减振器精细制造及扭振抑制变化的研究[J]. 内燃机, 2016(1): 58-62.
- [10] 刘国凯, 唐季平, 瞿方, 等. 硅油减振器外壳旋压成形工艺探究[J]. 塑性工程学报, 2017, 24(3): 102-108.
- [11] 上官文斌, 魏玉明, 赵旭, 等. 硅油减振器阻尼测试试验台的组成与力学模型[J]. 内燃机学报, 2014, 32(6): 555-561.

Study on Parametric Design and Finite Element Calculation of Silicone Oil Shock Absorber

He Kangwei¹, Zou Lei², Xiao Nengqi^{2,3*}

(1. Yidu Tongxin Precision Forging Co., Ltd., Yidu, Hubei 443300, China; 2. Yichang Key Laboratory of Robot and Intelligent System, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China; 3. Hubei Key Laboratory for Design and Maintenance of Mechanical and Power Engineering, China Three Gorges University, Yichang, Hubei 443002, China)

Abstract: In this paper, silicone oil shock absorbers are studied. Based on the analysis of the structure and damping mechanism of silicone oil shock absorber, VB.NET software is used to develop the integrated system software of silicone oil shock absorber with the functions of friendly interface parameterization input, parametric design and modeling. The three-dimensional model of FA3081040 silicon oil shock absorber derived from the integrated software is taken as the object, and the mechanical properties of FA3081040 silicon oil shock absorber are studied by ANSYS software. It provides theoretical guidance for the parametric design and strength calculation and analysis of silicone oil shock absorber.

Key Words: silicone oil shock absorber; software development; finite element analysis; structural analysis

(责任编辑: 熊文涛)