 DOI: https://doi.org/10.12349/tie.v3i9.11789

Optimization Research on Two-Stage Vibration Isolation System with Viscous Damping

Yun Li

China Automotive Engineering Research Institute Co., Ltd., Chongqing, 401122, China

Abstract

The generator motor of a integrated vehicle is connected to the body through secondary vibration isolation. while cause the booming noise in the meeting room of the integrated vehicle.In this paper, the model of the hysteretic damping secondary isolation system is establist, write the program by Matlab, analyze the influence of the different of the parameters to the vibration isolation rate of the two-stage vibration system. the optimization proposal project is maked according to the problem. After the implementation of the scheme, the vibration isolation rate of the two-stage vibration isolation system is improved to reduce the vibration of body sheet metal and the noise in the conference room, thus solving the problem of the noise in the conference room of the integrated vehicle.

Keywords

hysteretic damping; two-stage vibration isolation system; Matlab program; vibration isolation rate

粘滞型二级隔振系统优化研究

李云

中国汽车工程研究院股份有限公司，中国 · 重庆 401122

摘　要

特种改制车发电机组通过二级隔振与车身相连，隔振不良导致了改制车会议室内的轰鸣声。本文首先通过建立粘滞型二级隔振系统模型，然后Matlab编写程序，分析了不同参数变化对于二级隔振系统隔振率的影响结果.通过问题实际情况制定相应改善方案。实施方案后二级隔振系统隔振率得到提升，降低了车身钣金振动，降低了会议室内轰鸣声，从而解决了集成车会议室轰鸣声问题。

关键词

粘滞阻尼；二级隔振；Matlab；隔振率

1 引言

NVH 性能开发技术在乘用车、商用车领域应用已十分广泛，但在专用车领域内的应用却相对较少。我公司一款集成车产品，匹配一款发电机组后，集成操作间地板振动强烈，车内噪声明显。经排查诊断后确认是发电机组匹配的二级减震器系统的系统隔振率未达标，导致其传递到车身上的动态激励力太大，从而导致了集成车内的轰鸣声问题。

本文针对此问题开展了二级隔振系统传递性能优化工作。关于二级隔振系统的论文不在少数，但大多数集中于分析粘性阻尼系统，而在实际工程中往往采用橡胶型阻尼垫，橡胶型产品的阻尼力在一定范围内与其变形程度成正比关系，属于粘滞阻尼，所以本文建立了基于粘滞阻尼的二级隔振系统模型。对于粘滞阻尼的表述方式也有很多种，本文采用复刚度法开展对于粘滞型二级隔振系统的数学模型搭建。

【作者简介】李云（1984–），男，中国重庆人，从事NVH&异响台架匹配研究。

单自由度系统响应方程可写成如式（1）

$$M*\ddot{x}+K^**x=F \tag{1}$$

其中，$K^*=K'(1+j*\eta)$ （2）

K^* 结构复刚度，K' 复刚度的实部，η 结构的损耗因子

复刚度可以较真实地反映结构的刚度和阻尼特性。当系统的阻尼形式为粘滞阻尼时，即 $\eta=-c$，则单自由度系统方程可以表述为式（3）

$$M*\ddot{x}+K*x+j*c*x=F \tag{3}$$

写成反复刚度形式为 $M*\ddot{x}+K^**x=F$

2 二级隔振系统建模

发电机组由柴油机与发电机组成，通过一级隔振垫连接中间箱体，箱体再经二级减振器与车身相连，可简化为二自由度两级隔振力学模型。

模型参数定义：m_1 为发电机组质量，m_2 为中间箱体及支架质量；$k_1、c_1$ 为一级衬套刚度、阻尼；$k_2、

c_2$ 为二级衬套刚度、阻尼；$x_1、x_2$ 分别为机组、箱体位移，u 为车身安装基点位移。

基于达朗贝尔原理与拉格朗日方程构建系统动力学方程组，对微分方程做拉普拉斯变换，联立消元推导得到二级隔振系统传递率解析表达式。依托该数学模型编写 MATLAB 仿真程序，输入质量、刚度、阻尼参数即可求解系统隔振率。

3 二级隔振系统参数对于系统性能影响分析

通过厂家设备信息了解到，发动机发电机总质量为 612kg，中间包裹箱体的质量大约为 65kg。一级衬套刚度为 305，二级衬套刚度为 197，发动机激励属于二阶 50Hz 稳态激励，以此工况分析各参数影响规律。

3.1 一级隔振衬套各参数对于系统隔振性能的影响分析

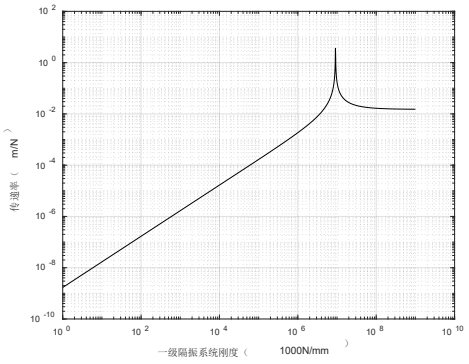


图 3.1 一级衬套刚度对于 50Hz 激励隔振性能的影响曲线

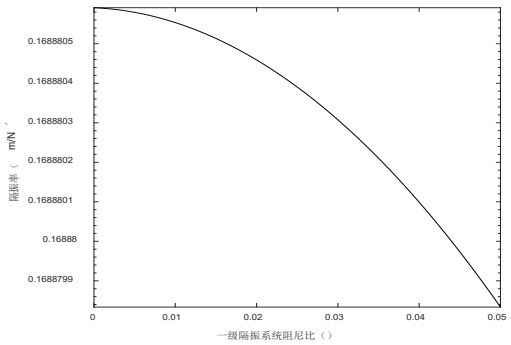


图 3.2 一级衬套阻尼比对于 50Hz 激励隔振性能的影响曲线

（1）. 一级衬套刚度增大，系统隔振性能持续下降，高刚度区间减振效果急剧恶化；小幅降低一级衬套刚度可有效提升隔振效率。

（2）. 一级衬套阻尼比增大可小幅优化隔振效果，但整体敏感度低，调节阻尼对性能改善作用有限。

3.2 二级隔振衬套各参数对于系统隔振性能的影响分析

建立中间质量、二级衬套刚度对于系统隔振率影响的曲线如下

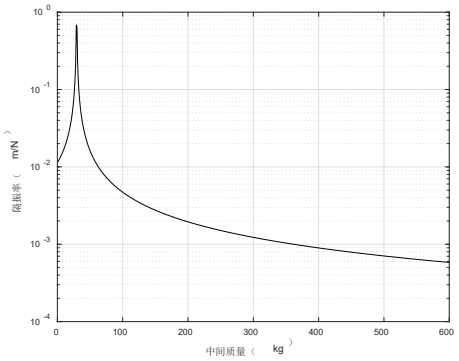


图 3.3 中间质量对于系统隔振率的影响曲线

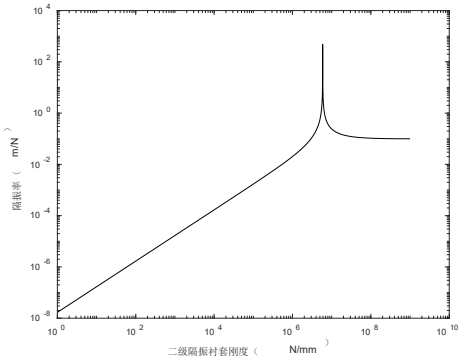


图 3.4 二级衬套刚度变化对于系统隔振率的影响曲线

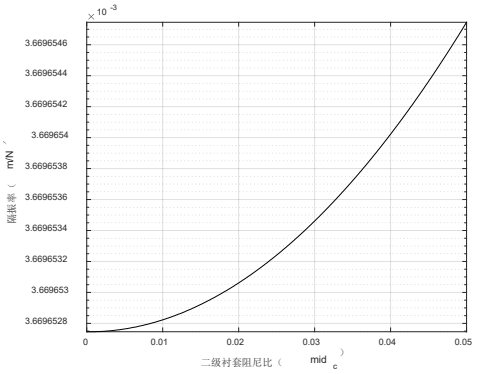


图 3.5 二级衬套阻尼比变化对于系统隔振率的影响曲线

通过各类参数变化对于二级隔振系统隔振率的影响可以归纳成如下结论：

（1）基于图 3.5 可以看出，当中间质量低于 23kg 时，降低中间质量有利于提升系统隔振性能，而当中间质量高于此质量时，提升中间质量可以有效的改善系统隔振性能。

（2）二级衬套的刚度和一级衬套的刚度对于整个系统隔振情况的影响相似。但二级衬套刚度的设计对于系统的影响要大于一级衬套，尤其在共振区域。

（3）二级衬套阻尼比的影响与一级衬套阻尼比的影响相反，随着二级衬套阻尼比的增大，整体的隔振性能成下降趋势。但阻尼比的变化对于系统隔振性能的影响较小。

4 模型验证及优化方案

4.1 仿真模型精度验证

实测发电机组、中间箱体、车身连接点三处 50Hz 振动幅值，原车系统实测传递率 -26dB；同等参数下 MATLAB 仿真传递率 -24.38dB，仿真与实测误差 6%（小于 10%），模型满足工程计算精度要求，可以应用到工程应用中。

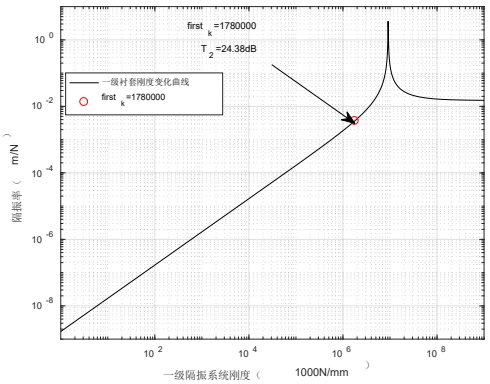


图 4.6 仿真计算隔振率结果

4.2 优化方案制定及实施效果对比

结合参数影响规律提出两项整改措施：①更换低刚度一级减振衬套；②对中间箱体增重。

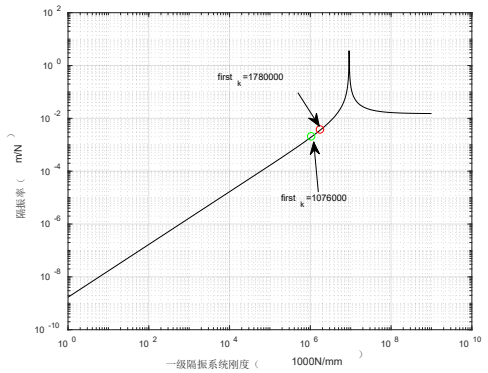


图 4.7 改善一级衬套刚度对于隔振效果的影响

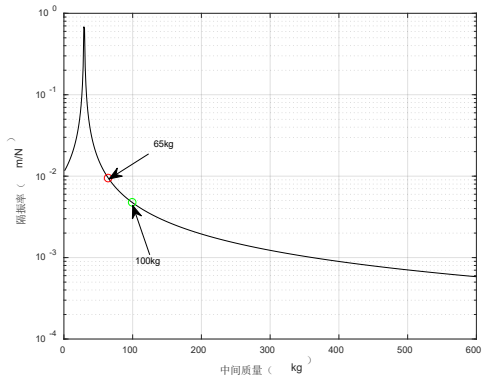


图 4.8 增加中间质量对于隔振效果的影响

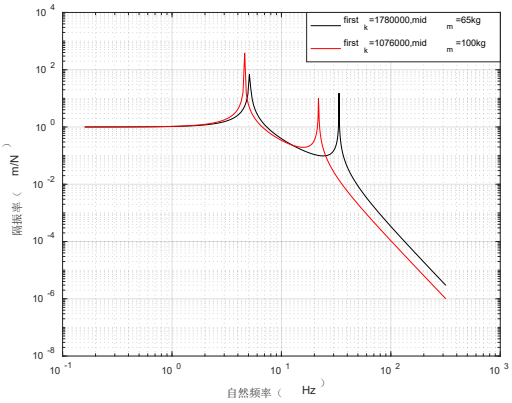


图 4.9 更换衬套 + 增加中间层质量前后前后隔振效果曲线

实车整改后复测振动数据：50Hz 下车身振动幅值降至原状态 1/3，系统隔振率提升 4dB；会议室故障频率噪声降低 7.3dB(A)，总声压级同步下降 7.3dB(A)，轰鸣噪声问题明显改善。

5 总结

本文针对集成车发电机组车内轰鸣故障，建立粘滞阻尼二级隔振二自由度动力学模型，通过 MATLAB 仿真量化分析质量、刚度、阻尼对隔振率的影响规律。依据仿真结论提出实车 NVH 优化方案，实测结果验证模型可靠、整改措施有效，该建模仿真方法可复用至同类专用车减振故障分析。

参考文献

[1] 吴萧，双层隔振动力总成系统结构振动特性研究[D]. 西南交通大学，2015。

[2] . 魏燕定，赖小波，陈定中，沈国强，两级振动隔振系统参数优化设计 [J].浙江大学学报，2006。

[3] 丁文静，减振理论[M].北京：清华大学出版社，1988

[4] 张鲲.带有动力吸振器浮筏隔振系统的减振特性研究[D].中国科学技术大学，2008。

[5] 陈楚才.双层隔振系统优化及实验研究[D].西南交通大学，2017。

[6] 沃德海伦，斯蒂芬拉门兹，波尔萨斯。模态分析理论与试验[M]。北京，2012，32(4):92-95

[7] 赵建学，俞翔，柴凯，杨庆超。双层隔振系统隔振性能分析[J]。中国舰船研究，2017

[8] CARRELLA A，BRENMAN M J，WATERS T P. Stat-ic analysis of a passive vibration isolator with quasi-ze-ro-stiffness characteristic［J］. Journal of Sound and Vi-bration，2007，301（3/4/5）：678-689.

[9] 金建敏、谭平、周福霖、庄学真、沈朝勇。天然橡胶（LNR）的等效阻尼比试验研究[J]。西安建筑科技大学学报