

# 基座隔振性能结构设计及性能评价

吴医博, 郭万涛, 冀 冰, 赵树磊

(中国船舶重工集团公司第七二五研究所, 河南 洛阳 471023)

**摘 要:** 利用有限元软件 Patran/Nastran, 对基座的隔振性能进行结构设计, 通过仿真分析, 研究了不同结构形式对隔振性能的影响, 确定了最优的基座结构形式, 并进行了隔振性能试验验证。

**关键词:** 基座; 隔振; 结构设计

中图分类号: TB123 文献标识码: A

DOI:10.19515/j.cnki.1003-1545.2017.02.018

## Structure Design and Characterization of the Vibration Isolation Performance of the Base

WU Yibo, GUO Wangtao, JI Bing, ZHAO Shulei

(Luoyang Ship Material Research Institute, Luoyang 471023, China)

**Abstract:** In this paper, the structure design for the vibration isolation of the base is carried out by FEM simulation and analysis software Patran/Nastran. The effects of the structure forms of the base on vibration isolation are studied through simulation and analysis, and the optimum structure form is determined. Finally, the theoretical results are validated by experiments.

**Keywords:** base; vibration isolation; structure design

潜艇的主要优势在于其隐蔽性, 而振动噪声是降低潜艇隐蔽性的主要因素, 在与潜艇声隐身相关的三大噪声源的控制技术中, 船用主动力装置和辅助机械振动噪声的控制占着重要的地位。基座结构是连接潜艇艇体和减振装置以及振源设备的重要连接结构和组成部分, 因此对基座的结构进行优化设计<sup>[1]</sup>, 提高其隔振性能具有重要意义。

### 1 建立模型

目前评价基座隔振性能主要有力传递率、振级落差、插入损失等方法<sup>[2]</sup>, 本文采用有限元软件 PATRAN/NASTRAN 建立基座的有限元模型, 考察相同边界条件和激振条件下, 不同结构形式<sup>[3]</sup>、不同材料形式、不同隔振处理方式的隔振效果<sup>[4]</sup>, 并和初始钢基座进行对比分

析, 以及试验验证。为了不改变基座的上下接口关系, 本文重点以基座的肋板作为研究对象进行相关隔振优化设计, 从采用隔振质量块、粘贴 SA3 约束阻尼层以及复合材料肋板这几种方案考察其对基座的隔振性能的影响。

原始钢基座模型如图 1 所示, 上板: 500 mm × 400 mm × 8 mm, 下板: 800 mm × 400 mm × 8 mm, 肋板: 300 mm × 400 mm × 6 mm。为了提高基座的隔振性能, 设计了另外 6 种不同形式的基座, 其中复合材料基座上下板和钢基座相同, 肋板替换为 300 mm × 400 mm × 15 mm; 图 2 为把复合材料肋板换为相等刚度泡沫夹芯复合材料 (300 mm × 400 mm × 22 mm) 后的模型图; 图 3 是原始钢基座的基础上粘贴了约束 SA3 阻尼层, 图 4 为在图 1 基础上增加一隔振质量块 (400 mm × 4 mm × 6 mm) 后的模型图, 图 5 是增加隔振质量块并且在肋板粘贴约束 SA3

收稿日期: 2016-10-21

基金项目: 国防科工局 (D820061244)

作者简介: 吴医博, 男, 1984 年生, 高级工程师, 主要从事复合材料工程应用研究。

阻尼层; 图 6 是增加隔振质量块并且肋板采用 夹芯复合材料。

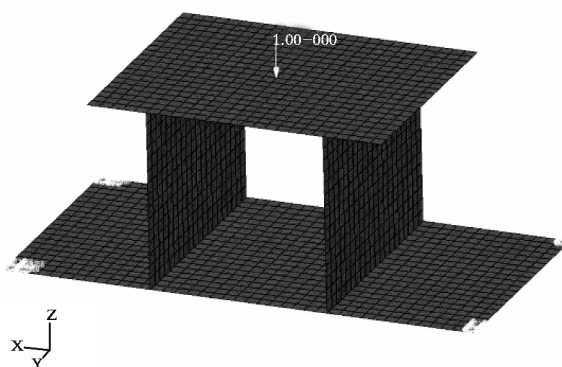


图 1 钢基座模型图

Fig. 1 The steel base model

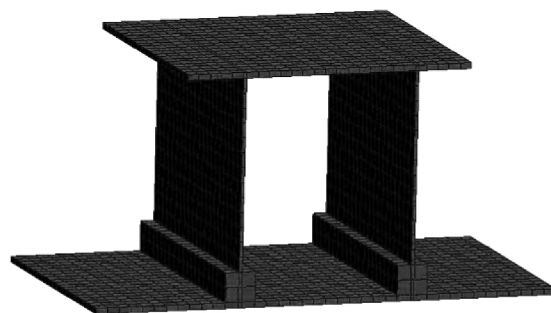


图 4 隔振质量块基座模型图

Fig. 4 The model of base installed vibration isolators

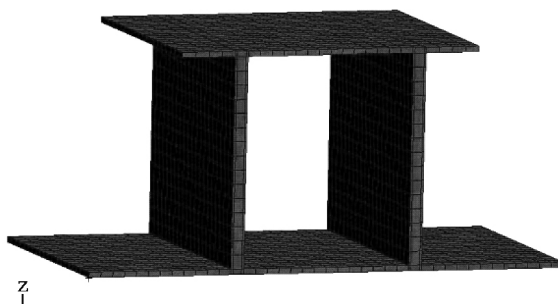


图 2 泡沫夹芯基座模型图

Fig. 2 The foam sandwich composite base model

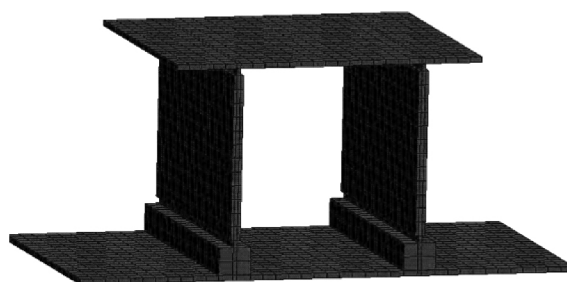


图 5 隔振质量块 + 肋板 SA3 处理模型图

Fig. 5 The model of steel base with vibration isolators and managed floor plates by SA3 rubber materials

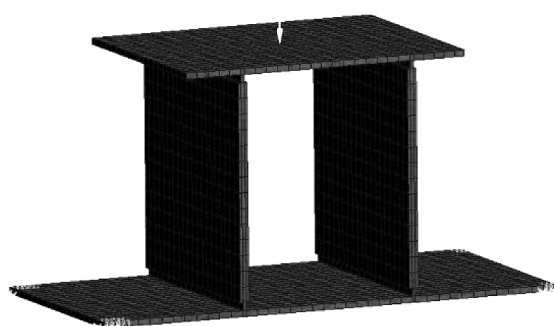


图 3 基座肋板 SA3 处理模型图

Fig. 3 The model of base with floor plates managed with SA3 rubber materials

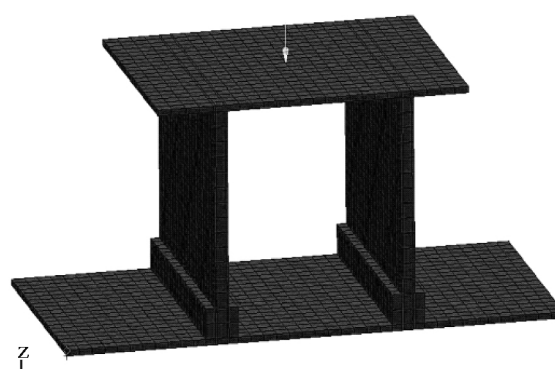


图 6 隔振质量块 + 泡沫夹芯基座模型图

Fig. 6 The model of foam sandwich composite base with vibration isolators

## 2 材料参数

表 1、2 为计算用材料参数。

表 1 模型计算用均质材料参数

Table 1 The parameters of the constitutive model

材料名称	模量/GPa	波松比	密度/(kg/m <sup>3</sup> )
钢	200	0.3	7 850
PU	0.3	0.4	300

表 2 模型计算用复合材料参数

Table 2 The composite parameters of the constitutive model

材料名称	$E_{11}$ /GPa	$E_{22}$ /GPa	$G_{12}$ /GPa	$G_{13}$ /GPa	$V_{12}$	密度/(kg/m <sup>3</sup> )
夹芯复合 材料面板	25	25	3.8	3.8	0.14	1 630
复合材料	21	21	6.0	6.0	0.15	1 700

## 3 模态计算结果

表 3 为基座的前 5 阶共振频率和对应的振

型。从模态结果看,由于采用了质量较轻的复合材料,造成复合材料结构形式模态频率提高,而采用隔振质量块后,虽然质量增加,但基座整体刚度提高,也造成模态频率提高。

表 3 基座模态结果

Table 3 The calculation results of the mode of the base in different cases

结构	X 方向摆	Y 方向摆	一阶弯曲	扭转	二阶弯曲
钢结构	36.6	35.5	37.7	72.0	96.0
复合材料	45.4	38.3	42.8	82.0	112.0
夹芯复合材料	48.0	39.0	46.0	86.0	120.0
隔振质量块 + 夹芯复合材料	9.0	43.0	33.0	72.0	86.0
钢结构 + 肋板 SA3	39.8	33.6	37.7	88.4	93.9
钢结构 + 隔振质量块	44.1	42.7	37.0	81.3	99.2
钢结构 + 隔振质量块 + 肋板 SA3	46.6	40.0	37.6	95.3	97.6

## 4 基座频率响应结果

在相同的边界和激励条件下,基座的隔振效果可以对比各种结构形式的振动加速度,通过提取不同基座下面板相同位置测点的加速度进行数据处理和对比,公式(1)为加速度振级,公式(2)为 N 个频率的总振级,公式(3)为各种结构形式相对于钢基座的隔振效果。

加速度振级公式为:

$$L_i = 20 \log_{10} \frac{a_1}{a_0} \quad (\text{dB}) \quad (1)$$

式中,  $a_1$ —测点的加速度,  $\text{m/s}^2$ ;  $a_0$ — $10^{-6}$  (参考的加速度),  $\text{m/s}^2$ 。

N 个频率的总振级为:

$$L_a = 10 \log \left( \sum_{i=1}^N 10^{L_i/10} \right) \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

隔振效果为:

$$L_r = 20 \log_{10} \frac{a_1}{a_2} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

式中,  $a_1$ —钢基座测点的加速度值,  $\text{m/s}^2$ ;  $a_2$ —相同位置测点的加速度值,  $\text{m/s}^2$ 。

图 7、图 8 是不同结构形式的基座在 1 ~ 2 000 Hz 的振级曲线,可以看出,在全频段,钢

基座的加速度振级峰值最高,而改进后的 6 种基座振级都有明显的衰减,特别是方案 3 基座(隔振块+夹芯复合材料)和方案 6 基座(隔振

块+SA3 阻尼处理),在全频段都有加速度振级明显降低,在高频效果最为明显,振级下降了 10 dB 以上。

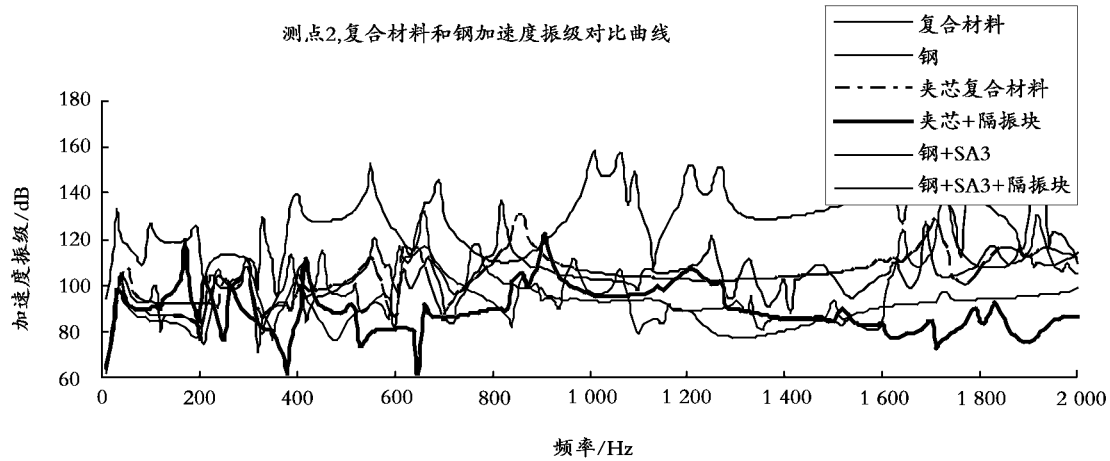


图 7 节点 2 的加速度振级

Fig. 7 The acceleration-vibration level of the node 2

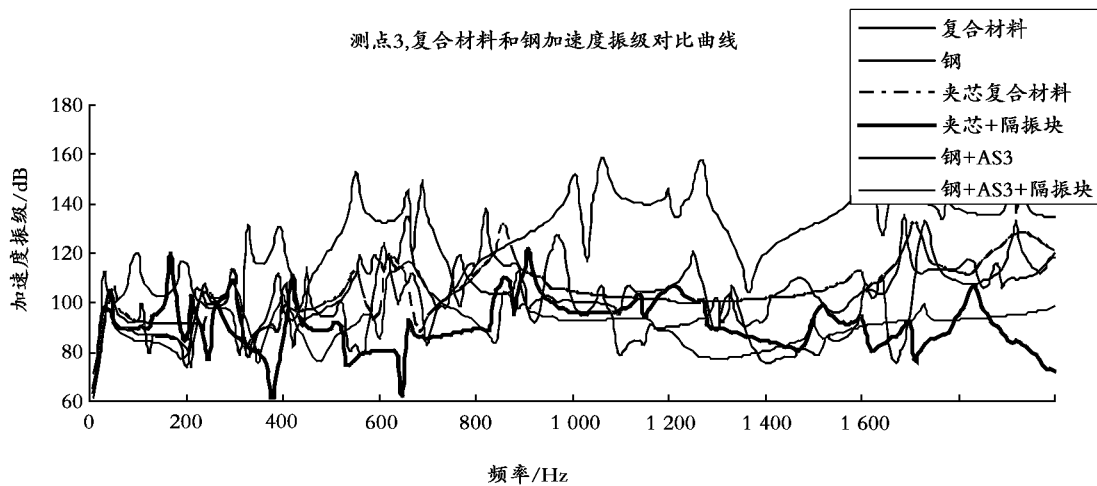


图 8 节点 3 的加速度振级

Fig. 8 The acceleration-vibration level of the node 3

表 4 是把加速度级转化为总振级后的结果,图 9 是隔振效果的柱状图,从结果可以看出,在下板相同位置,与钢基座相比,几种形式复合材料基座总振级都有一定的降低(3 ~ 16 dB),在结构上不增加隔振质量块的情况下,隔振效果相对钢基座最大提升 5 dB: 夹芯复合材料基座 > 复合材料基座 > 阻尼处理钢结构 > 钢结构。

增加隔振质量块后,隔振效果达到 10 dB

以上,方案 3、6 在隔振质量块的基础上再进行夹芯复合材料和阻尼处理,相对钢基座,其隔振效果达到 16 dB 以上,并且两种方案的隔振效果基本相当。

从以上分析来看,在原有基座增加隔振质量块后,隔振效果增加最为明显,这主要是因为隔振质量块相对板而言具有大的阻抗,造成阻抗的失配,使传递到隔振质量块的振动形成散射、反射,只有一部分振动传递过去,因此

具有较好的隔振效果。而夹芯复合材料隔振效果优于复合材料，也是由于相对于钢板的阻抗失配更为明显造成的。

表 4 加速度振级对比

Table 4 The test results of acceleration-vibration level of test points of the bases in different cases

结构形式	测点 2	测点 3
钢结构	141.9	146.1
复合材料	138.6	141.1
夹芯复合材料	136.6	140.5
隔振质量块 + 夹芯复合材料	125.8	125.7
钢结构 + 肋板 SA3	141.5	140.7
钢结构 + 隔振质量块	130.2	130.2
钢结构 + 隔振质量块 + 肋板 SA3	124.4	124.4

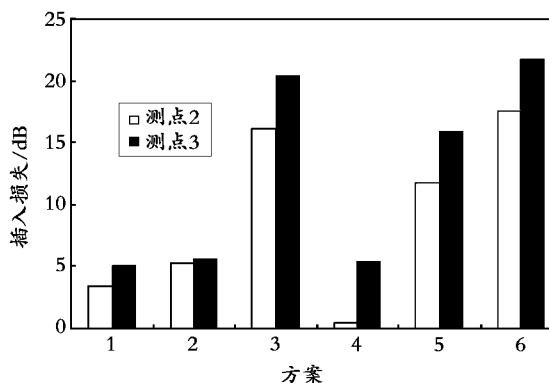


图 9 不同方案的隔振效果

Figure 9 The insertion loss of test points of the bases in different cases

## 5 试验验证

为了验证仿真分析，对全钢基座和复合材料基座进行频响测试，边界条件和激励位置相同，激振方式为随即信号，激振点和测点位置如图 10 所示，测点位置和仿真中的位置相同。

表 5 是两个架座下底板的振动加速度级的计算值和实测值。计算和实测采用的激励信号不同，故加速度的绝对值不同，但可以进行插入损失的对比。从表中可以看出，无论理论计算还是实测结果，在下底板相同位置处，复合材料基座的插入损失在 2 ~ 5 dB 之间。复合材料肋板的使用，造成了上下钢面板之间的阻抗失配，能够有效隔绝上下面板之间的能量传递。使用复合材料作为基座肋板可以有效抑制振动传递。从仿真结果和实测结果对比来看，仿真计算值可以指导基座的结构设计。

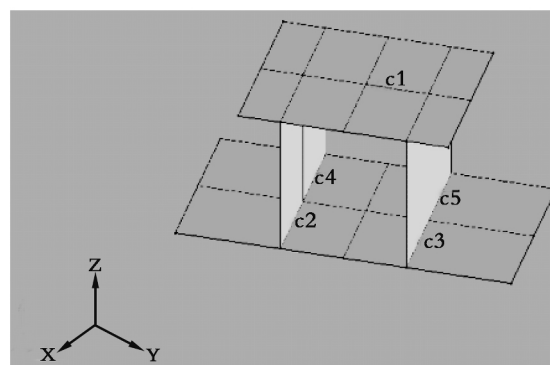


图 10 测点和激振点位置图

Fig. 10 The diagram of the vibration test and excitation positions

表 5 两架座各点的加速度振级

Table 5 The insertion loss of the test points of the steel and composite base

测点	计算振级/dB			实测振级/dB		
	钢基座	复合材料基座	插入损失	钢基座	复合材料基座	插入损失
2	141.9	138.5	3.4	85.8	83.5	2.3
3	146.1	141.1	5.0	86.9	83.0	3.9
4	141.9	138.5	3.4	85.4	81.3	4.1
5	146.1	141.2	4.9	90.3	85.9	4.4

## 6 结论

(1) 在保持原有基座结构形式下, 肋板阻尼处理和肋板替换为复合材料、夹芯复合材料, 隔振效果基本相当。

(2) 采用隔振质量块处理后, 形成接头位置的阻抗失配, 隔振效果明显。

(3) 在采用隔振质量块结构形式下, SA3 阻尼处理和采用夹芯复合材料肋板都具有最优的隔振效果。

## 参考文献:

- [1] Madhav M R, Jawaaid S M AH. Behavior of composite rigid caisson foundation [J]. Geotechnical Engineering, 2008, 39 (2): 105—111.
- [2] 赵树磊, 郭万涛, 吴医博. 复合材料基座减振性能试验研究 [J]. 材料开发与应用, 2009, 24 (4): 8—13.
- [3] 周红兵. 基础阻抗对筒型复合材料基座减振机制影响规律研究 [J]. 材料开发与应用, 2011, 26 (5): 54—59.
- [4] 杨德庆, 陈静, 郭万涛, 罗放. 复合结构减振优化设计模型 [J]. 噪声与振动控制, 2011, 31 (3): 24—28.

(编辑: 房 威)