

泵组隔振设计及实船测试研究

赵 军¹, 董佳欢^{2,3}, 于 胜¹, 乐美鑫⁴

(1. 中国海洋大学, 山东 青岛 266100; 2. 七一一研究所, 上海 200090; 3. 船舶与海洋工程动力系统国家工程实验室, 上海 201108; 4. 江南造船(集团)有限责任公司, 上海 201913)

摘 要: 针对某科考船冷却水泵组开展泵组隔振设计。通过上下层隔振器选型及中间筏体结构设计, 使系统的各阶模态频率在一定程度上低于主要扰动频率, 同时使筏体的主要振动模态远离扰动频率。仿真计算和实船测试结果验证了该泵组隔振设计达到相应设计要求。

关键词: 冷却水泵组; 隔振; 有限元法

中图分类号: U661.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2020)03-0053-03

Research on Pump Set Vibration Isolation Design and its On Board Test

Zhao Jun¹, Dong Jiahuan^{2,3}, Yu Sheng¹, Le Meixin⁴

(1. Ocean University of China, Shandong Qingdao 266100; 2 Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 200090; 3. National Engineering Laboratory for Marine and Ocean Engineering Power System, Shanghai 201108; 4 Jiangnan Shipyard (Group) Co., Ltd., Shanghai 201913)

Abstract: The vibration isolation design of the cooling water pump set of a scientific research vessel was carried out. To make the modal frequency of different orders lower than main disturbance frequency to some extent, and keep the main vibration mode far away from the disturbance frequency, the type selection of upper and lower vibration isolators and the structural design of middle raft were carried out. The simulating calculation and on board test results verified that this pump set vibration design could meet the design requirements.

Key words: cooling water pump set ; vibration isolation; finite element

0 引言

水泵为重要的船舶辅机装置, 其工作时产生的振动直接沿基座向船体传递, 特别是对水下辐射噪声要求较高的科考船和有隐身性要求的特殊船舶影响较大^[1], 因此须对其进行隔振设计。根据设计要求的不同, 一般可采用单层隔振、双层隔振、浮筏隔振等。在某科考船前期的振动噪声控制设计中, 已进行了设备振动指标分配, 明确了该冷却水泵组须进行双层隔振才能满足相应的设计要求^[2-3]。

1 泵组浮筏隔振设计

浮筏隔振作为一种比较成熟的隔振方式在船舶隔振设计中得到大量应用^[4-5]。它不仅具有较好的隔振性能, 同时也有利于设备布置。本文研究的水泵为立式离心式水泵, 其相关参数如表 1 所示。

表 1 水泵相关参数

额定转速/($r \cdot \min^{-1}$)	1 450
单台重量/kg	640
数量/台	3
叶片数量/叶	6

收稿日期: 2019-01-26; 修回日期: 2019-05-27

基金项目: 2017 年工业转型升级(中国制造 2025)资金(Z135060009002)。

作者简介: 赵军(1959—), 教授, 主要研究方向为船舶与海洋工程, nachuan6339@163.com。

隔振设计的对象为3台同类型立式离心水泵,拟安装在同一个筏体平台上,以减小布置空间,也有利于管路的布置。隔振设计主要包括:上下隔振器选型和布置、筏体结构设计等。根据水泵额定转速1 450 r/min,确定设备的振动激励频率为24 Hz(基频)和144 Hz(叶频)。首先根据设备的重量,初步设计隔振器的承载和布置,确定上层隔振器刚度的取值范围;再根据泵组的总重量和材料的物理性能进行筏体结构设计。考虑重量控制要求,筏体采用框架式结构。

初定隔振系统隔振器相关参数如表2所示。单台泵通过4个上层隔振器布置于中间筏体;中间筏体通过10个下层隔振器安装于船体基座,如图1所示。

表2 隔振器相关参数

隔振器	额定载荷/N	刚度/ $\times 10^6$ ($\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$)		
		垂向	横向	纵向
上层隔振器	2 200	0.98	0.82	2.27
下层隔振器	4 000	8.87	1.60	6.57

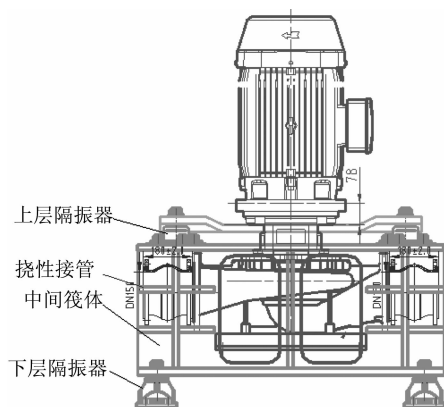


图1 泵组浮筏隔振示意图

2 隔振系统有限元模型及分析

2.1 有限元模型

建立机舱区域三维有限元模型(见图2),共43 391个单元,24 447个节点;前后横舱壁为强结构位置,进行边界约束。对泵组基座结构网格做细化,如图3所示。泵组隔振系统有限元模型,如图4所示。

2.2 隔振系统设计校核

为了达到良好的隔振效果,隔振装置的固有频率与扰动频率之比应小于 $1:\sqrt{2}$;隔振系统频率应不大于 $F_{\text{max}} = 24 \times 0.7 = 16.8$ Hz。同时,为了避免共振以及影响隔振效果,中间筏体的结构模态须避开激励频率。

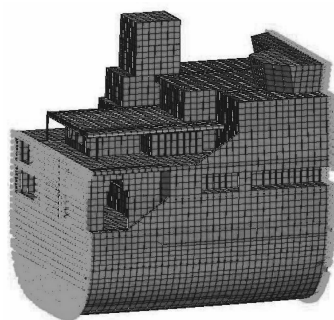


图2 舱段有限元模型

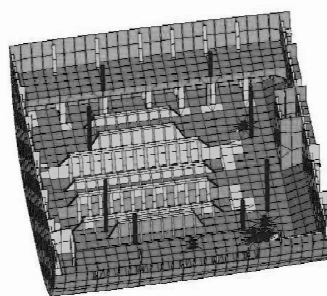


图3 泵组基座有限元模型

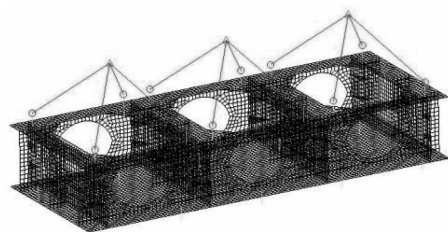


图4 泵组隔振系统有限元模型

经隔振系统和中间筏体模态计算,得到系统垂向频率为14.7 Hz,筏体前6级固有频率为:106、130、181、201、241、270 Hz,其中,前2阶模态如图5、图6所示。可见:系统频率和筏体模态能避开激励频率,系统不会发生共振现象。

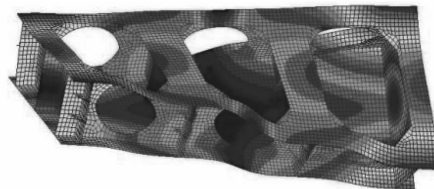


图5 第一阶模态(106 Hz)



图6 第二阶模态(130 Hz)

2.3 隔振性能分析

经有限元计算，泵组上层振动加速度为 123 dB，基座振动加速度为 81 dB，隔振效果为 42 dB，如图 7 所示。

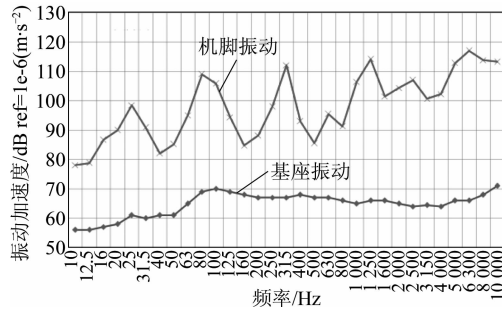


图 7 隔振效果计算结果

船舶在海上航行时，承受风、浪、流等载荷，在恶劣环境下，船舶的横摇、纵摇将对弹性安装的设备产生影响。在船舶横倾 $\pm 22.5^\circ$ 和纵倾 $\pm 7.5^\circ$ 下，通过隔振系统的稳定性计算，校核隔振器的变形量和挠性接管的相对位移量。计算结果（表 3）显示：上下隔振器最大变形量和挠性接管相对变形量均能满足隔振元件的要求。

表 3 横倾和纵倾环境下的最大变形量

设备	横倾 $\pm 22.5^\circ$	纵倾 $\pm 7.5^\circ$
上层隔振器/mm	6.0	3.7
下层隔振器/mm	9.2	7.2
挠性接管相对位移量/mm	20.6	11.4

3 实船隔振效果测试

泵组浮筏隔振系统实船测试结果如图 8 所示。在 10 Hz ~ 10 kHz 频段内，水泵机脚加速度总振级为 123 dB，基座振动加速度总振级为 84 dB，背景振动为 80 dB，隔振效果约 39 dB。实测结果与仿真结果吻合较好。误差的主要原因是：实船测试过程中存在背景振动，对基座振动加速度的测试值有一定的影响。

有限元简化模型在隔振器变形量计算等方面具有一定的指导意义^[6]，但对于隔振效果的计算精度不够。相比经验公式或仅建立隔振系统模型的方法，本文采用舱段模型，能真实反映船体基座实际阻抗特性，使计算精度得到大幅提高，为泵组隔振设计，特别是隔振效果计算提供了方法和依据。

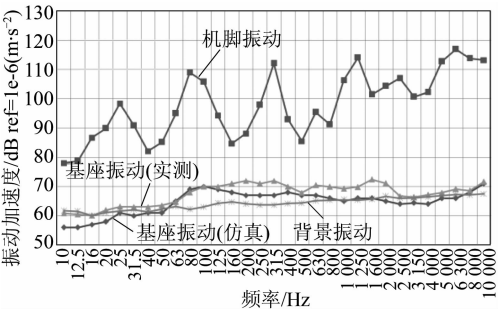


图 8 泵组机脚和基座振动加速度响应

4 结论

本文通过上下层隔振器选型及中间筏体的结构设计，使系统的各阶模态频率一定程度上低于主要扰动频率；同时，筏体的主要振动模态远离扰动频率。通过本次泵组浮筏隔振设计，形成了较为完善的浮筏隔振设计方法。对比仿真计算和实船测试结果，进一步验证了本文隔振设计过程中所采用的有限元方法的准确性，提高了设计效率并优化了设计方案，为泵组浮筏隔振设计的工程应用提供了技术支持。

参考文献

[1] 严济宽. 机械振动隔离技术 [M]. 上海: 上海技术文献出版社, 1985.

[2] 朱石坚, 何琳. 船舶机械振动控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[3] 张满满, 骆东平, 骆子夜, 等. 船用辅机浮筏动态特性有限元分析 [J]. 噪声与振动控制, 2002 (4): 24-26.

[4] 刘立志, 王禹, 蔡龙奇, 等. 高温高压系统泵浮筏隔振方案及振动特性分析研究 [J]. 科技视界, 2019 (3): 37-39.

[5] 胡泽超, 何琳, 李彦. 隔振器分布对浮筏隔振系统隔振性能的影响 [J]. 舰船科学技术, 2016 (11): 48-52.

[6] 余林波, 黄其柏, 张永波, 等. 双层浮筏隔振系统筏体结构与隔振特性的研究 [J]. 噪声与振动控制, 2007 (4): 7-9.

[7] 赵兴乾, 帅长庚, 徐伟. 大功率密度舰船推进电机的隔振系统设计 [J]. 海军工程大学学报, 2019 (1): 31-35.