

科考船振动噪声综合控制技术

周文建, 叶林昌

(七一一研究所, 上海 201108)

摘要: 针对科考船的特点, 并结合近年科考船振动噪声工程应用情况, 系统总结了科考船振动噪声控制流程及方法。对科考船初步设计、详细设计、生产设计和施工阶段提出了相应的振动噪声控制要点; 对振动噪声指标的确定、分解, 振动噪声评估及优化设计, 以及各动力设备振动噪声的具体控制措施及可达到的效果进行了阐述; 对科考船振动噪声控制过程管理提出相应建议。

关键词: 科考船; 振动噪声; 控制; 管理

中图分类号: U661.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2018)05-0044-06

Technology of Vibration and Noise Integrated Control of Research Vessels

Zhou Wenjian, Ye Linchang

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

Abstract: The vibration and noise control flow and methods of research vessels are summarized according to the features of research vessel and the experience of acoustic control project. The main points of vibration and noise control are given according to each phase including concept design, detail design, lofting design, and building design. The confirmation and decomposition of vibration and noise control indexes, the evaluation and optimal design of vibration and noise control, as well as the detailed control methods for power equipments and attainable effects were presented. Suggestions are given on the process management of vibration and noise control of research vessels.

Key words: research vessel; vibration and noise; control; management

0 引言

科考船是一类载有科技人员和专用仪器, 对海洋自然特性进行测量研究并获取其基础数据的专门作业船舶。科考船除了须要满足相关规范要求的振动和舱室噪声指标外, 在科学试验时对试验环境也有振动噪声要求, 以确保试验的准确性。

科考船的振动噪声控制是一个系统工程, 按照以往传统的在详细设计或者建造阶段再考虑设备的振动噪声控制的方法已经无法满足现代科考船高振动噪声指标的要求。须将振动噪声控制贯穿到科考船的整个设计和建造过程, 也即在不同的设计和建造阶段采用相应的振动噪声控制手段。

本文基于近年参与的科考船振动噪声控制的相关工作, 对科考船各设计阶段须开展的振动噪声控制工作进行总结; 并对动力设备的控制措施进行论述, 希望能给科考船的设计建造工作提供参考。

1 科考船振动噪声控制的主要工作

科考船振动噪声控制是一个系统工程, 如果前期没有系统地策划, 后期控制就会受到限制, 很多方法无法实施, 对最终指标的达成构成威胁。因此, 减振降噪工作应贯穿于科考船的初步设计、详细设计、生产工艺设计及现场施工、制造、产品检验整个过程。科考船的振动噪声控制流程如图1所示。

收稿日期: 2018-04-09

作者简介: 周文建(1978-), 男, 高级工程师, 主要研究方向为振动噪声控制, zhouwenjian@csic711.com。

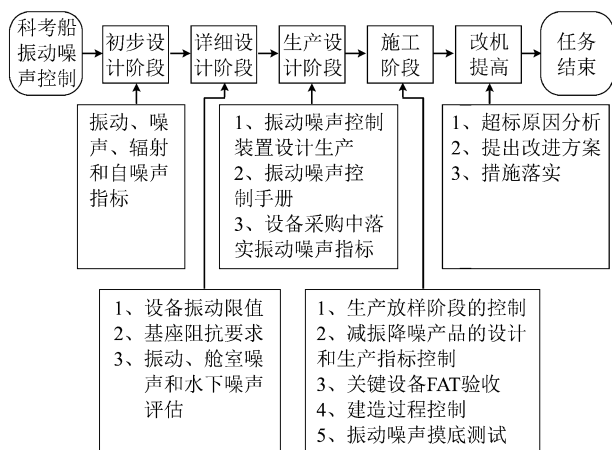


图1 振动噪声控制流程图

1.1 初步设计阶段

初步设计阶段, 根据科考船的建造目标要求, 船的主体布置及性能参数基本确定。在该设计阶段可以将船体振动噪声指标与性能指标一同确定, 如果水下噪声对科学试验有影响, 也要提出水下辐射噪声和自噪声指标。

1.2 详细设计阶段

详细设计阶段, 主要根据船体振动、舱室噪声以及水下辐射噪声和自噪声的指标要求, 通过计算分析和相似船型的设计经验, 确定主要设备船体基座的振动限值、阻抗要求以及部分辅助设备的振动指标要求和通风系统的噪声要求。

该阶段还须对船体的振动性能、舱室噪声、水下噪声以及自噪声性能进行评估, 避免共振以及振动、舱室噪声、自噪声和下水噪声超标情况出现。如果有超标现象, 提出优化设计意见和控制措施, 通过优化设计和采用振动噪声控制措施使整船的振动噪声达到指标要求, 最终形成全船的振动噪声综合控制方案。

1.3 生产设计阶段

生产设计阶段开展船体详细结构设计和设备采购, 在该阶段须将前面的振动噪声控制方案落实到各个设备的设计中, 并确保指标的达成。同时, 编制全船的振动噪声控制手册, 以便后期现场施工和管理人员了解振动噪声控制流程、关键节点和注意事项。在设备采购过程, 落实振动噪声指标。

1.4 施工阶段

施工阶段的中间过程质量控制主要包括: 生产放样阶段的控制、减振降噪产品的设计和生指标控制、关键设备 FAT 验收、建造过程控制、振动噪声摸底测试等, 确保振动噪声控制手段的有效落实。

2 科考船振动噪声指标确定及分解

科考船的振动噪声指标主要包括: 船舶振动指标、舱室噪声指标、自噪声指标和下水辐射噪声指标。

(1) 振动和舱室噪声要求

目前振动和舱室噪声指标可以参考的标准比较多, 主要有 CCS COMF^[1]、MSC337 (91)^[2] 以及其它船级社的标准。其中, 对于 DP (Dynamic Positioning, 动力定位) 工况噪声提出了考核要求, 须要额外予以关注。

(2) 自噪声要求

自噪声要求目前没有标准可以参考, 一般考虑多波束安装位置的噪声水平。以往出现过多波束位置噪声过大, 影响测量结果的案例。多波束位置噪声指标须根据科学仪器的测量要求提出, 一般分频段提出。

(3) 水下辐射噪声要求

水下辐射噪声要求目前仅有 DNV Silent 标准可以参考^[3], 其他船级社均未提出下水噪声相关标准。CCS 在 2017 年初, 发布了下水噪声测试指南, 在测量阶段可以作为参考。该指标与自噪声有些类似, 但也有区别, 须综合考虑。

科考船振动噪声相关指标的确定, 除了参考相关标准外, 更要考虑科考船舒适性要求、科学试验抗振动噪声干扰等要求, 目前的相关标准具有普适性。因此科考船的声学指标提出, 既要考虑科学测量要求, 也要考虑经济性要求。

科考船振动噪声指标分解是在全船振动噪声以及下水噪声和自噪声指标要求的基础上, 通过计算评估和经验数据, 对大型动力设备的振动噪声提出限值要求; 同时对安装基座的阻抗特性提出要求, 以确保全船声学指标达成。

3 振动噪声评估及优化设计

振动噪声评估主要包括: 整船的振动性能评估、局部振动评估、舱室噪声评估、下水辐射噪声评估和自噪声评估。在计算结果不满足指标要求的情况下, 提出优化建议。

3.1 整船振动性能评估及优化设计

整船振动性能评估主要包括: 船体模态评估和振动响应评估。

整船模态评估主要考察船体模态频率是否与大型动力设备激励频率重合, 以避免共振情况发生; 整船振动响应评估主要考察船舶各位置的振动水平

是否超过限值,以保证振动指标的达成。根据评估结果,当出现共振或者振动超标情况时,提出相应的解决方案,给设计提供支撑。

船舶振动评估主要根据型线图、外板展开图、各层甲板结构图等船体结构图纸,利用有限元软件建立船体模型,并考虑机械设备重量、油水装载情况、舱室分布及附连水质量^[4]。模态计算中,对比整船模态和主要激励频率,评估发生整船共振和振动超标的风险。然后考虑主要动力设备的激励,计算整船的振动响应,并与指标要求对比,如果超标则进行优化设计,提出整改方案。计算模型及结果如图2所示。图3给出了全船总振动响应评估流程图。

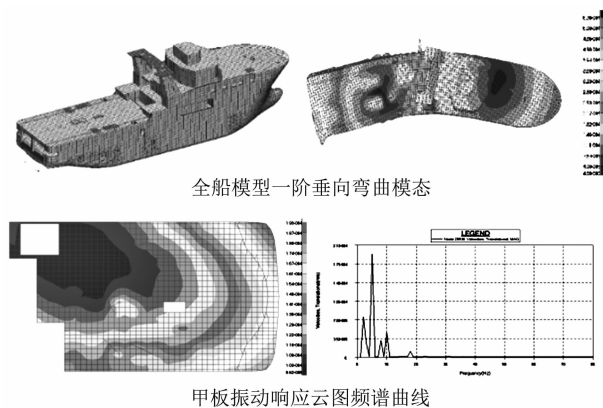


图2 总振动计算模型及结果示意图

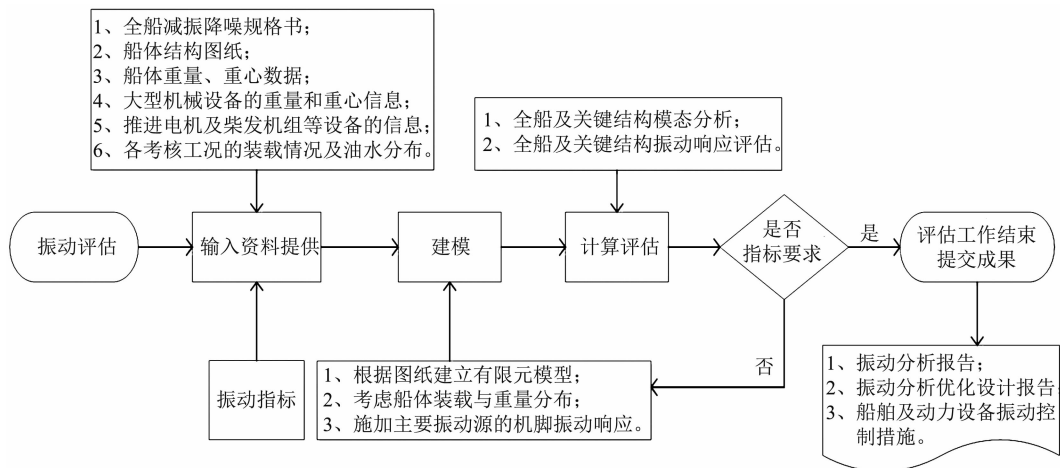


图3 总振动及局部振动评估流程图

3.2 局部结构振动评估及优化设计

局部结构振动计算主要采用有限元方法,对所关心的局部结构,如桅杆(图4)、烟囱、大跨度区域、舵机舱及其他舱室进行固有频率计算,并与主要动力设备的激励频率做比较,对共振风险区域提出优化建议。

3.3 舱室噪声评估及优化设计

舱室噪声的评估采用统计能量方法(SEA)。统计能量方法采用“能量”的观点,统一解决结构振动和声场问题。统计能量法所有参数都是时、空、频域的平均统计量,所以其分析结果能够从统计意义上预测整个子结构的平均响应。使用软件建立全船SEA声学模型,考虑船体外部的流场环境,加载主要振动噪声设备,包括:推进柴油机组、推进电机、风机等的能量输入,并在模型中考虑舱室的吸隔声材料及减振降噪措施。将计算得出的各个舱室的声压级与限值指标进行对比,对于超标现象提出相应的改进建议,如:设备隔振隔声初步方案、全船内装、绝缘材料的设计建议以及全船阻尼材料敷设建议等。最终形成全船的舱室噪声分布图

以及优化设计报告。图5给出了舱室噪声评估项目示意图;图6所示为舱室噪声评估的整体流程。

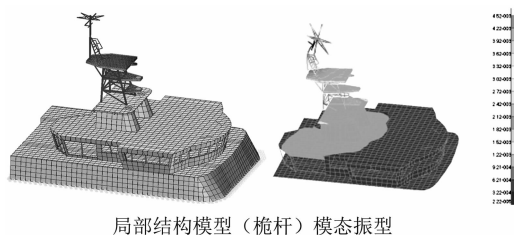


图4 局部结构的振动分析示意图

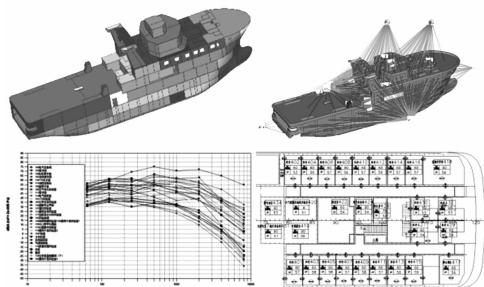


图5 舱室噪声评估示意图

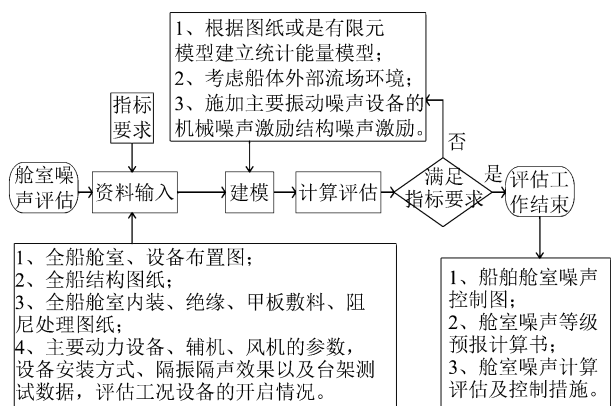


图6 舱室噪声评估流程

3.4 水下辐射噪声评估及优化设计

通过水下噪声预测得到科考船船体的水下噪声情况,并结合已选用的动力设备的振动情况,评估其他辅机设备的隔振要求,最终得到船体的水下噪声情况,提出降噪方案。

船舶水下辐射噪声主要由三部分组成:机械噪声、螺旋桨噪声、水动力噪声。评估过程中分别计算每个噪声源对水下辐射噪声的贡献。机械噪声贡献评估基于统计能量方法和边界元方法,实现水下辐射噪声的全频段预报,在模型中加载船上主要动力设备的噪声激励,计算分析得出机械噪声对水下辐射噪声的贡献量;根据设备商提供的直叶桨的具体振动数据评估对应工况下直叶桨引起的水下辐射噪声;水动力噪声评估是通过CFD计算得出海流造成的船体脉动压力,再转化为机械噪声激励,然后计算其对水下辐射噪声的贡献。将各部分的噪声贡献汇总,得到全船的水下辐射噪声水平,与限值曲线对比,提出降噪措施建议,形成全船的水下辐射噪声优化设计方案。船舶水下辐射噪声评估过程如图7所示。

3.5 自噪声计算评估

自噪声与水下辐射噪声的声源基本相同,自噪声为近场噪声。自噪声对科学试验影响非常大,尤其是多波束位置的噪声如果超标,采集的信号将受到干扰,影响试验结果的准确性。在自噪声评估过程中,须根据航速的不同,改变机械噪声、螺旋桨噪声、水动力噪声的贡献量,将计算结果与限值曲线对比,如果超标则提出降噪措施。

4 主要设备振动噪声控制措施

4.1 发电机组及主推进柴油机噪声控制措施

发电机组以及推进柴油机都是科考船的主要噪声源。常用的减振措施有单层和双层隔振(或者

浮筏隔振)方式。单层隔振装置隔振效果一般可以达到15~25 dB,双层隔振装置隔振效果可以达到25~45 dB。在降噪方面,主要采用隔声罩控制辐射噪声,隔声罩的隔声效果一般可以达到15~45 dB;采用排气消声器控制排气噪声,消声器的消声效果一般可以达到15~35 dB。当机组采用隔振安装时,油、水和气管均须采用挠性接管安装;排气管路也须采用弹性安装。主推进柴油机还须在输出端采用高弹性联轴器等径向位移补偿装置。当隔振装置和隔声罩同时使用时,隔振装置的隔振效果会更优。图8为带隔声罩发电机组双层隔振示意图。

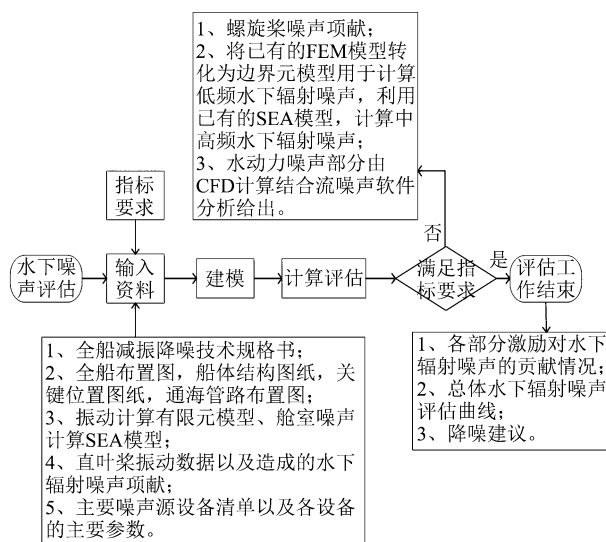


图7 水下辐射噪声评估流程

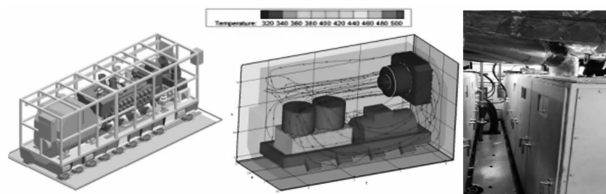


图8 带隔声罩发电机组双层隔振示意图

4.2 齿轮箱噪声控制措施

当主推进装置为柴油机时,须要安装齿轮箱进行转速变换。当主机采用隔振安装时,齿轮箱也隔振安装。齿轮箱隔振既要保证隔振效果,也要考虑稳定性,不能有大的变形位移。目前齿轮箱的隔振形式一般为硬弹性隔振(图9),隔振效果可以达到20 dB。同样与齿轮箱连接的油水管路也须弹性安装。

4.3 推进电机噪声控制措施

目前科考船大多采用电力推进,推进装置采用硬弹性隔振(图10),设备机脚和基座面板之间的

加速度振级落差不低于 20 dB。根据以往科考船项目经验给出推进电机机脚和基座的振动加速度限值；连接的油水管路采用挠性接管；推进电机基座采用声学优化设计。



图9 齿轮箱隔振示意图

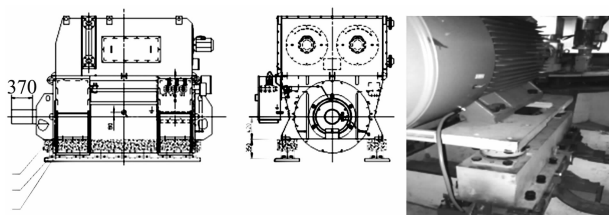


图10 推进电机硬弹性隔振示意图

4.4 吊舱推进装置和侧推噪声控制措施

吊舱的振动噪声控制比较复杂，可以从桨的优化和电机的低噪声设计着手；基座安装可以采取阻尼减振和主动减振等技术。

侧推噪声控制除了优化桨外，还可以安装导流罩，并且在导流罩上做阻尼减振处理。

4.5 辅机设备噪声控制措施

一些振动或噪声比较突出的辅机，如流量加大的水泵、空压机、风机、焚烧炉、分油机、冷水机组等，尤其是水线以下设备，也须进行振动噪声控制。可以根据评估结果采用单层、双层以及浮筏隔振形式。一般隔振效果可以达到 40 dB。所有弹性安装的设备连接管路采用弹性安装，如图 11 所示。

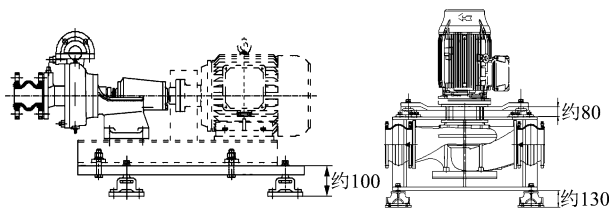


图11 辅机单层和双层隔振示意图

4.6 管系减振降噪设计

这里的管系主要指设备隔振的挠性接管、排气

管路和靠近水线以下舷侧舱壁的油水管路。在船厂排气管路放样图的基础上，对管路设计和安装进行减振优化设计，并对排气管路弹性吊架布置（数量、间隔距离、刚度和固有频率）进行振动性能评估。对于有共振或者强迫振动超标风险的情况，进行进一步优化设计。

4.7 其它

除了上述的一些具体要求外，对于一些对科考船振动、噪声指标不利的设计也应该予以关注，具体如下：

- (1) 螺旋桨的初生空泡航速尽量高一些，水下噪声尽量低于限值的 5 dB 以上；
- (2) 风机房尽量采用进排风消声器、内部采用阻尼等措施，以降低百叶窗外噪声水平；
- (3) 空调通风系统，确保最大负荷时布风器出口噪声值低于房间噪声限值的 5 dB 以上；
- (4) 对于多波束位置上方 3 层舱室尽量不要布置激励源（泵组、空调机组等）；附近不要出现通海管路。

随着新材料和新技术的不断出现，振动噪声控制手段也越来越丰富。例如在基座、舱壁等位置，高阻尼因子的阻尼材料可以达到 3~6 dB 的减振效果；对于局部振动和船体振动，可以应用振动主动控制技术，其控制效果可达 3~6 dB，单线谱可以达到 10 dB 以上；对于管路和噪声要求比较高的区域，可以应用噪声主动控制技术，控制效果可以达到 3~6 dB，单线谱可以达到 15 dB。

5 振动噪声控制过程管理

5.1 振动噪声控制手册

振动噪声控制手册是通过全船模态及局部振动响应、舱室噪声、自噪声及水下噪声计算分析，结合科考船的减振降噪特点编制的。主要包括：减振降噪标准，控制范围，全船振动噪声源示意图，振动噪声源传播、隔振、消声、吸声、隔声示意图，全船减振降噪综合措施（简介），FAT、建造检验、试航等的相关描述及注意事项，减振降噪对外校验项目，生产设计检查的标准及流程，并组织船东、船厂、设计院等单位进行评审。主要目的是让船厂现场工作人员了解科考船的振动噪声控制流程、关键节点、检查项目和注意事项，以避免施工和检查过程中漏项。

5.2 FAT 验收

通过台架验收，确认主要动力设备在出厂时振动噪声满足规格书指标要求，同时掌握设备已经达

到的振动噪声水平。尤其关注发电机组、推进柴油机(如有)、传动齿轮箱(如有)、推进电机、吊舱(如有)等大型动力传动设备。当然,对于一些泵组、风机等设备也应予以关注。验收中须关注测点的选取,测量的频率范围、传感器的安装等影响测量结果的因素。

须强调一点,当设备实船弹性安装,而验收时采用刚性安装验收时,须将刚性安装的隔振效果折算成实船的弹性安装状态,否则可能会存在FAT验收合格,而实船超标的情况。

5.3 建造过程控制

全船的振动噪声控制措施都须在建造过程体现。而船厂一般对船舶建造本身比较关注,而减振降噪是一个比较专业的领域,船厂涉猎较少,尤其是现场施工人员。这就须在前期培训的基础上,加强过程监控,核查减振降噪措施的落实和施工工艺的执行情况,规避振动噪声短路现象。主要核查内容包括:(1)主要动力设备基座声学结构特征,阻抗测试,隔振装置核验;(2)风机消声装置状态核验;(3)空调通风系统降噪装置的安装,包括消声器和接管等;(4)管系布置,管系和船体连接安装及包覆情况;(5)阻尼材料施工、吸隔声材料贴覆质量核查;(6)机舱棚及附近舱室吸隔声处理情况是否满足设计要求,是否存在声短路情况。

5.4 振动噪声测试

振动噪声测量是全船振动噪声控制最关键的一

环,主要包括全船的振动噪声测量、水辐射噪声测量和自噪声测量。测量前须编制测量大纲;对测量结果中振动或者噪声超标情况,判断原因并给出改进措施。

6 总 结

本文结合近年科考船振动噪声控制工程应用情况,总结了科考船振动噪声控制流程及方法。

(1)科考船振动噪声控制须在科考船的初步设计、详细设计、生产设计和施工各阶段有针对性地提出相应的振动噪声控制措施。

(2)给出了振动噪声指标的确定、指标分解、振动噪声评估及优化设计流程,各动力设备的具体控制措施及可以达到的效果。

(3)阐述了科考船振动噪声控制过程管理流程及关注点和具体方法。

总之,科考船的振动噪声控制要考虑宏观方案和措施,更要关注细节,控制各个参数和工艺的落实。科考船振动噪声控制是一个系统工程,须融合到设计各个阶段,并纳入全船的管理体系。

参考文献

- [1] CCS. 钢制海船入级规范 [R]. 2014.
- [2] MSC. 337 (91) 船上噪声等级规则 [R]. 2014.
- [3] DNV. Silent class notation [R]. Norway: DNV, 2010.
- [4] ABS. Guidance notes on ship vibration [R]. 2006.
- [7] 刘金玲. 柴油机动力学特性研究 [D]. 杭州: 浙江大学, 2010.
- [8] 曹树谦, 丁千, 陈予恕, 等. 具有滑动轴承的稳态转子系统有限元建模分析 [J]. 汽轮机技术, 1999 (6): 347-350, 354.
- [9] 凌桂龙, 沈再阳. ANSYS 结构单元与材料应用手册 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2013.
- [10] SHIGLEY J. Mechanical Engineering Design [M]. 7th edition. New York: McGraw-Hill, Inc. 2004.
- [11] 虞烈, 刘恒, 王为民. 轴承转子系统动力学 [M]. 西安: 西安交通大学出版社. 2016.
- [12] 曹树谦, 张文德, 萧龙翔. 振动结构模态分析——理论实验与应用 [M]. 2 版: 天津: 天津大学出版社. 2014.

(上接第 43 页)