

## 减振与降噪

## 船舶舱室噪声评估及控制研究

虞 俊, 叶林昌

(七一一研究所, 上海 201108)

**摘 要:** 以粤海铁路火车渡轮作为研究对象, 利用统计能量法—VA one 软件建立了声学计算模型, 舱室噪声初步评估结果表明: 部分舱室噪声超标。通过一定的减振降噪措施后, 对舱室噪声进行再评估, 并与实测值比较, 两者接近。说明该方法可以用于舱室噪声预报, 对船体初期设计具有一定的参考价值。

**关键词:** 统计能量法; 船舶舱室; 噪声; 控制

**中图分类号:** U661.44 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4357(2013)01-0040-04

## Research on the Noise Assessment and Control for Ship Cabins

Yu Jun, Ye Linchang

(Shanghai Marine Diesel Engine Research Institute, Shanghai 201108)

**Abstract:** Taking Guangdong-Hainan railway train ferryboat as the research object, the acoustic calculation model was built by the statistics energy analysis tools-VA one software. The primary cabins noise assessment results showed that some of the cabins noises go beyond the criteria values. The cabin noises were reassessed after some vibration isolations and noise treatments, and compared with the measured data on board, the two group of data were similar, which means this method could be used as cabin noise prediction and is valuable in earlier hull design.

**Keywords:** statistics energy analysis; ship cabin; noise; control

## 0 引 言

随着生活质量的提高, 人们对舒适度的要求越来越高, 对于船舶上的工作人员和乘客也是如此。船体舱室甲板的结构振动和噪声不仅会影响到人员的健康、正常的生活和工作, 还会影响一些精密设备的使用寿命, 降低某些特种船舶像工程科考船以及舰船等的工作性能<sup>[1]</sup>。振动噪声控制受重视的程度逐渐提高, 因此, 很多科研院所等都提出了静音船舶设计概念。

对于舱室噪声的评估, 目前主要有三种方式: 最普通的就是通过人耳来听, 感觉噪声的大小, 但是没有定量的数值; 其次是通过仪器设备来测量, 但是仪表读数在不同测点和工况下变化较大, 不利

于舱室的整体噪声评估, 尤其是处于设计阶段的船舶不可能实现; 目前常用仿真软件来评估舱室噪声大小, 主要采用统计能量分析法。

## 1 统计能量分析法原理

统计能量分析(SEA, statistical energy analysis)方法是从统计的角度分析统计密集模态平均的振动能量传递水平, 适合于中高频振动分析, 分析频带较有限元和边界元法宽的多<sup>[2]</sup>。将一个复杂的结构分成多个子系统, 当某个或者某些子系统受到振动激励时, 子系统间就通过接触边界进行能量交换, 对每个子系统都能列出一个能量平衡方程, 最终得到一个高阶线形方程组, 求解得到每个子系统的能量, 由该能量得到需要的子系统的振动参

收稿日期: 2012-02-22

作者简介: 虞俊(1973-), 男, 工程师, 主要研究方向为减振降噪质量控制, E-mail: yujun\_1973@163.com。

数<sup>[3]</sup>。

利用统计能量法计算振动和噪声时，将整个模型离散成若干个子系统。根据模态相似的原则划分子系统，把一些模态能量相同及模态阻尼相等的模态划分一个模态群，同时还要保证子系统有足够高的模态密度。按目前统计能量分析发展的水平，使用于解决高频内的复杂系统动力学问题，即模态密度为  $n(f)$  的子系统带宽  $\Delta f$  内的振型数  $N(N=n(f)\Delta f)\geq 5$ <sup>[4]</sup>。

本文以琼州粤海铁路火车渡轮作为评估对象，为了进行全船的舱室噪声评估，建立了比较完整的船体模型。将系统离散成 385 个子系统，包括船体甲板、外板、壁板、各个舱室的声腔、隔振器、主要动力设备以及各种载荷等。图 1 给出了重要舱室之间的能量转换。

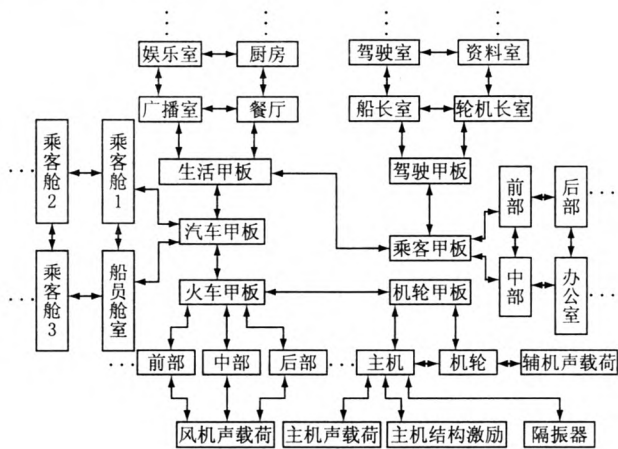


图 1 重要舱室之间的能量转换

根据能量守恒原理，得到如下能量平衡方程：

$$\omega \begin{bmatrix} [\eta_1 + \sum_{i \neq 1} \eta_{1i}] n_1 & -\eta_{12} n_1 & \cdots \\ -\eta_{21} n_2 & [\eta_2 + \sum_{i \neq 2} \eta_{2i}] n_2 & \cdots \\ \cdots & \cdots & \cdots \\ -\eta_{k1} n_k & \cdots & \cdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_1}{n_1} \\ \vdots \\ \frac{E_k}{n_k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Pi_1 \\ \vdots \\ \Pi_k \end{bmatrix}$$

式中： $\omega$  是计算频带中心频率； $\Pi_k$  表示外界输入系统的功率； $n$  代表系统在频段内的模态数； $\eta_i$  为子系统的内部损耗因子； $\eta_{ki}$  为子系统间的偶合损耗因子<sup>[5]</sup>。根据子系统数建立相应线形方程组，求解得到能量  $E$ ，从而得到相应参数如速度、加速度和外场声压等。

内损耗因子指子系统在单位频率内单位时间损耗能量与平均储存能量之比，由结构损耗因子、边界摩擦损耗因子和声辐射损耗因子组成<sup>[6]</sup>。

耦合损耗因子指一个系统附接于另一个系统时的功率流或者阻尼效应的量，可以通过测量、计算等获得<sup>[7]</sup>。

2 声学模型及加载计算

根据图纸，按照以上原则，利用 VA one 软件建立声学模型，如图 2 所示，给出了船体半剖图及内部声腔。船体上的甲板和壁板不是简单的钢板，除了不同位置的厚度差异以外，很多地方采用筋板结构。

有限元模态计算表明：船体的附连水质量对结果影响较大，因此该模型计算时考虑了附连水作用，即在水线以下的板壳一面设置与水相接。图 3 给出了模型经过耦合后，船体艏部局部放大图，包括了机舱主机的模型和隔振器。

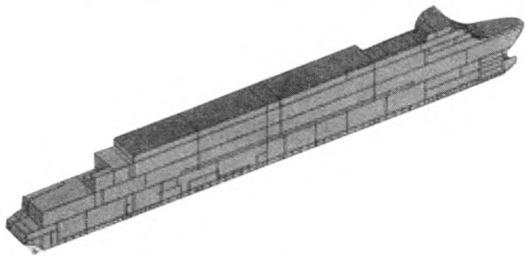


图 2 声学模型的半剖图

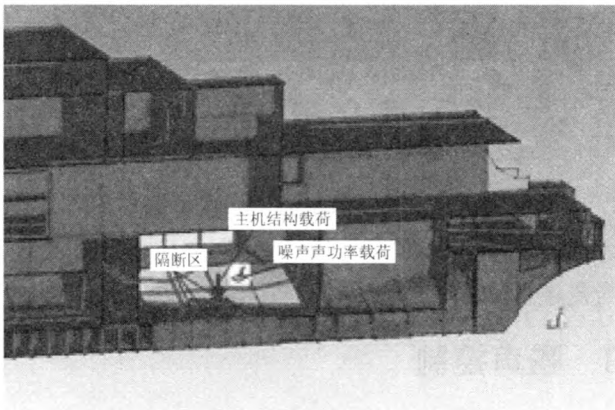


图 3 模型耦合后，船体艏部局部放大图

船舶设备的噪声源是一个复杂的系统，没有必要考虑所有的设备影响<sup>[8]</sup>。根据以往经验，舱室噪声主要源自主机、螺旋桨、发电机组、传动装置以及大功率辅机等；噪声激励一般包括振动结构噪声和空气噪声等，因此，输入激励也包括空气噪声载荷和结构噪声载荷。载荷参数一般由设备厂商提供，不能提供的参数一般通过经验公式、相似船型

设备估算或者试验测得。空气载荷一般将设备简化成一个噪声源，在相应声腔中施加；结构载荷一般根据集中力或者加速度谱等施加到相应位置。

对于加载方式，以主机为例：施加结构噪声载荷，将主机简化成一个质量体，保证位置和重量一致，在下方设置隔振器参数，并施加相似船舶同类型的主机实测振动加速度谱曲线，1/3 倍频程图如图 4 所示，查看该主机的计算结果，调整隔振器参数，直到与实测值一致；施加空气噪声载荷，根据图 5 提供的主机噪声载荷 1/3 倍频程图，施加到相应的声腔位置。对于其它设备像螺旋桨、柴油发电机组、大功率辅机设备载荷施加方法类似。

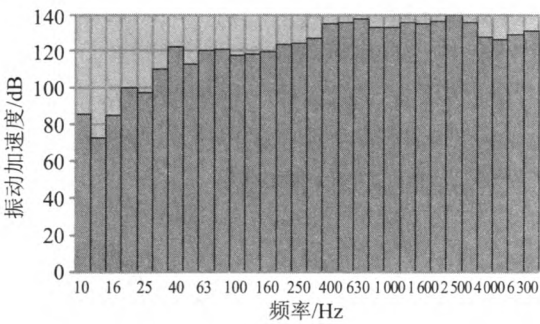


图 4 主机机脚振动加速度

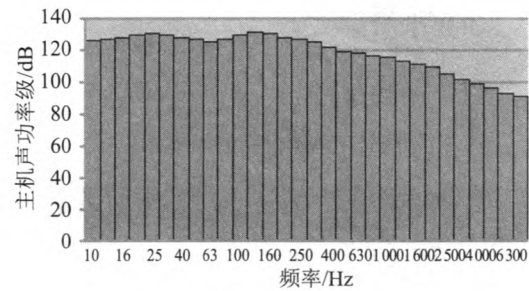


图 5 主机噪声声功率级

对全船主要人员活动区以及住舱等进行了初步评估，发现部分舱室的噪声级超过了规定的限值，需要进行降噪处理。

3 噪声控制

某些噪声要求较高的或者离噪声源较近的舱室噪声超标，需要进行振动噪声控制。首先从源头上进行控制，对于主机采用了单层隔振处理，在基座上贴敷阻尼材料，进排气口安装了消声器，同时在机舱棚周围贴敷防火绝缘材料和吸声材料等。其它的设备源都采取了一定的减振降噪措施。

其次从传递途径上进行降噪，在噪声较大舱室的甲板处铺设甲板敷料、防火绝缘材料或者浮动地板等；围壁贴敷防火绝缘材料、复合岩棉板、空气

层和吸声、阻尼材料等；天花板贴敷防火绝缘材料、复合岩棉板、安装木作等；安装隔声门和隔声窗等。图 6 给出了一种典型的围壁和地板处理结构示意图。在进行该类舱室的评估时，要根据实际的降噪措施，对舱壁、甲板和天花板等采取多层复合层材料以及设定壁板和声腔的损耗因子。

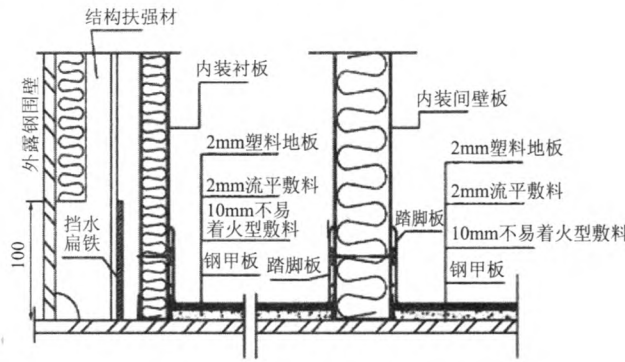


图 6 围壁及地板处理结构示意图

4 评估结果

根据技术指标要求，对主要人员居住区和活动区进行再评估，主要评估了驾驶甲板、乘客甲板、生活甲板、汽车甲板、火车甲板等。表 1 给出了部分舱室的噪声初步评估值、降噪后评估值、实测值以及技术指标要求的噪声限值。限于篇幅限制，只给出了部分结果，图 7 给出了驾驶甲板的噪声评估值，图 8 给出了驾驶室的噪声评估声压级曲线。图 9 给出了驾驶室的模态密度，验证声学模型的合理性<sup>[4]</sup>。

表 1 部分舱室噪声初步评估值、降噪后评估值、实测值以及指标技术要求 单位：dB(A)

舱室名称	初步评估值	降噪后评估值	实测值	技术指标要求
驾驶室	70	58	56.3	60
船员舱室	75	56	58.6	60
餐厅	80	69	66.8	70
甲板办公室	80	66	62.4	65
火车舱	85	80	78.8	80
集控室	90	67	69.2	70

5 结 论

本文采用的舱室噪声评估方法，其评估值与实船实测数据比较，结果接近，可以用来预报舱室噪声大小。初步评估结果表明：部分舱室噪声超标，通过噪声治理后，达到了相关规定要求。本文研究方法可为船舶初期的低噪声设计以及建造时的降噪处理提供依据。

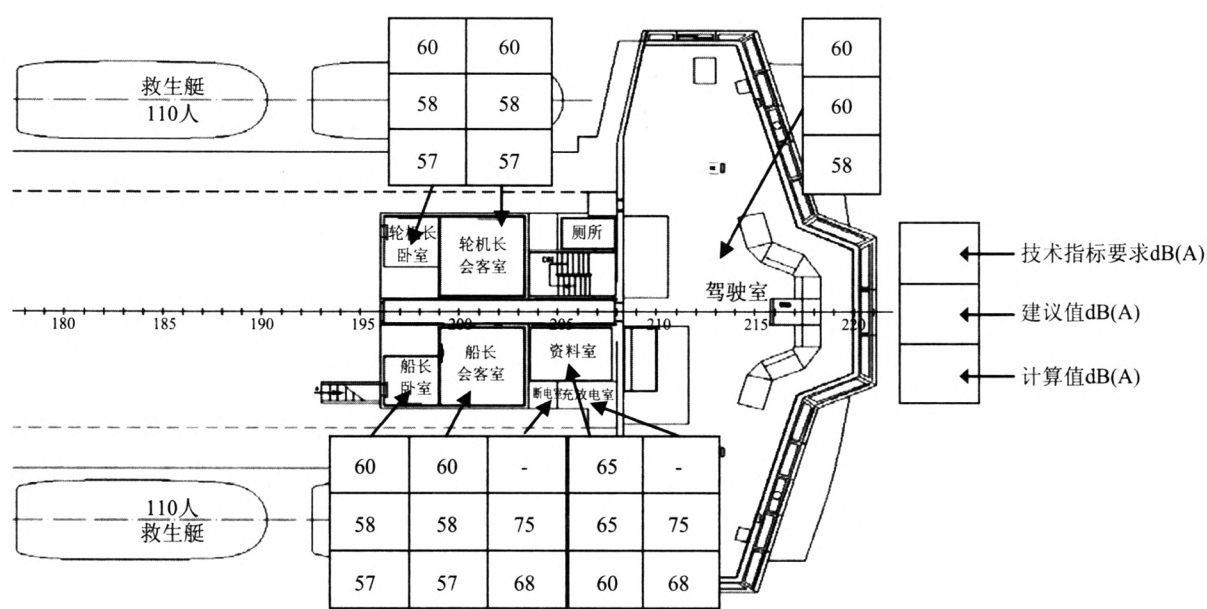


图 7 驾驶甲板噪声评估值

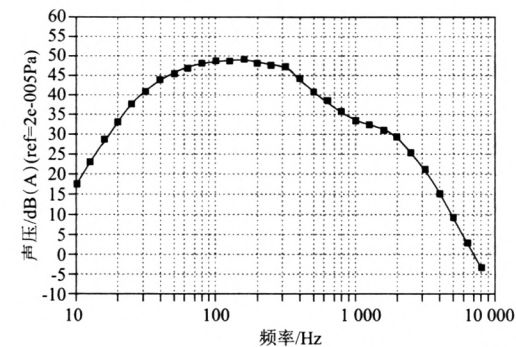


图 8 驾驶室的声压级曲线

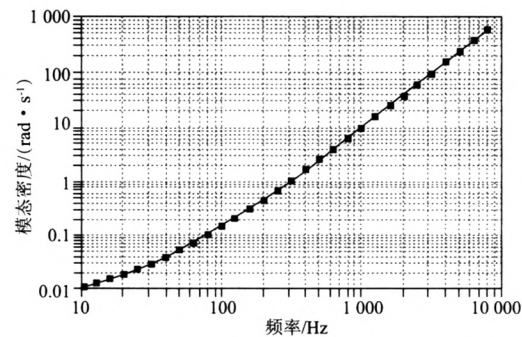


图 9 驾驶室声腔模态密度

参考文献

[1] 和卫平, 陈美霞, 高菊, 等. 基于统计能量法的环肋圆柱壳中、高频振动与声辐射性能数值分析[J]. 中国舰船研究, 2008, 3(6).

[2] 马纪军, 张军, 兆文忠. 统计能量法及其在提速客车噪声预测中的应用[J]. 大连铁道学院学报, 2005, 26(1).

[3] 丁少春, 朱石坚, 楼京俊. 运用统计能量法研究壳体的振动与声辐射特性[J]. 船舶工程, 2007, 29(6).

[4] 金学之. 基于统计能量法的高速船舱室噪声预报与控制方法的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2009.

[5] 童宗鹏, 王国治, 张志谊, 等. 水下航行器声振特性的统计能量法研究[J]. 噪声与振动控制, 2004(2).

[6] 冯涛, 王晶. 统计能量法的原理及其在声学工程上的应用[J]. 北京工商大学学报, 2002, 20(4).

[7] 俞孟萨, 朱正道. 集成统计能量法计算声纳自噪声水动力噪声分量[J]. 2007, 11(2).

[8] 姚熊亮. 船体振动[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 2008.