

文章编号:1006-1355(2018)03-0110-05

船舶机舱集控室声能量分析与降噪设计

樊红, 丁许聪, 秦欢

(武汉理工大学 能源与动力工程学院, 武汉 430063)

摘要:机舱集控室是船舶最难的噪声控制对象之一。利用VA One软件,基于统计能量法(SEA),建立某平台工作船的SEA模型,进行舱室噪声预测,并与实测值进行比较。分析集控室和它相连所有子系统间的声能量输入关系,得到集控室声能量组成及排序情况,确定空气声和结构声对集控室的影响,将此作为减振降噪依据。根据集控室噪声频谱特性及软件NCT功能,采用声学包设计方法,用不同材料组合对集控室各个面进行降噪处理,最终有效地控制集控室噪声,并为船舶舱室降噪提供一个参考方法。

关键词:声学;统计能量法;舱室噪声预测;集控室;声能量;降噪设计

中图分类号:U661.44

文献标志码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2018.03.020

Acoustic Energy Analysis and Noise Control Design of Engine Control Rooms on Ships

FAN Hong, DING Xucong, QIN Huan

(School of Energy and Power Engineering, Wuhan University of Technology, Wuhan 430063, China)

Abstract: It is very difficult to control the noise of engine control rooms (ECR) on ships. In this paper, based on statistical energy analysis (SEA) method and using VA One software, the SEA model of a platform support vessel is established. Cabin noise values are predicted and compared with the measured values. The acoustic energy transferring into the ECR from all its connected sub-systems is analyzed and its acoustic energy composition and sequencing type are obtained. The effect of air-borne noise and structure-borne noise on the ECR is determined and used as the basis of vibration and noise control. According to the noise frequency spectrum characteristics of the ECR and the NCT function of the software and using acoustic package design method, noise reduction processing is successfully carried out with different material compositions for each side of the ECR. This study provides a reference method for noise control of ship cabins.

Keywords: acoustics; statistical energy analysis (SEA); cabin noise prediction; engine control room (ECR); acoustic energy; noise control design

目前,由于柴油机良好的经济性和宽广的功率范围,90%以上船舶推进采用的是柴油机动力装置。但是柴油机相对于其它动力装置,一个明显的缺点是其振动噪声大。无论是作为船舶推进主机还是发电辅机的柴油机,大多数噪声都超过100 dB(A)所以大多数船舶机舱都设有集控室。集控室将机舱内的操纵系统、车钟、各类仪表与报警系统集中于一室,内设空调系统。国际海事组织《船上噪声等级规则》

规定,机舱内噪声不超过110 dB(A),集控室内噪声级不超过75 dB(A)^[1]。由于集控室声学处理不当而造成集控室噪声超标的船舶很多,所以集控室往往是船舶最重要的噪声控制对象之一。

为减少集控室的噪声,可供选择的措施一般包括对地板进行约束阻尼处理或浮筑地板,围壁采用带空腔且填充吸声材料的双层结构形式的隔声板^[2-3],隔声板一般是根据不同隔声板隔声量测定试验或经验来选择。但由于不同船舶机舱内主要声源柴油机的声振性能差异大;大多数船机舱布置在尾部,螺旋桨激励引起的结构噪声也很大;船体又是钢结构,其振动传递损失很小。导致集控室声能量传递途径复杂,仅凭经验采取减振降噪措施,其措施的有效性 with 经济性有时不能很好兼顾。

因此,本文利用通用声振软件VA One,基于统

收稿日期:2017-08-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51479154)

作者简介:樊红(1968-),女,武汉市人,副教授,主要研究方向为船舶振动与噪声控制。

E-mail: hongfanwh@163.com

通信作者:丁许聪(1992-),男,江苏省南通市人,硕士研究生,主要研究方向为:船舶振动与噪声控制。

E-mail: dingxucong@126.com

计能量方法(SEA),对某船进行舱室噪声预测,并分析集控室声能量来源及组成,从而有针对性地集控室进行降噪设计。

1 船舶舱室噪声预报模型

1.1 研究对象描述

本文研究对象为某平台工作船,总长85.0 m,垂线间长77.75 m,型宽22.0 m,型深8.00 m,设计吃水6.3 m,双机双桨推进,主机最大持续服务功率(100 %MCR)2 206 kW,额定转速800 r/min。该船为艏楼型,上层建筑从下往上依次为主甲板、升高甲板、艏楼甲板、艇甲板、办公甲板和驾驶甲板。机舱位于58—94号肋位间。集控室位于机舱中间甲板85—94号肋位间,其位置如图1所示,中间甲板距主机机座高度为3.4 m。

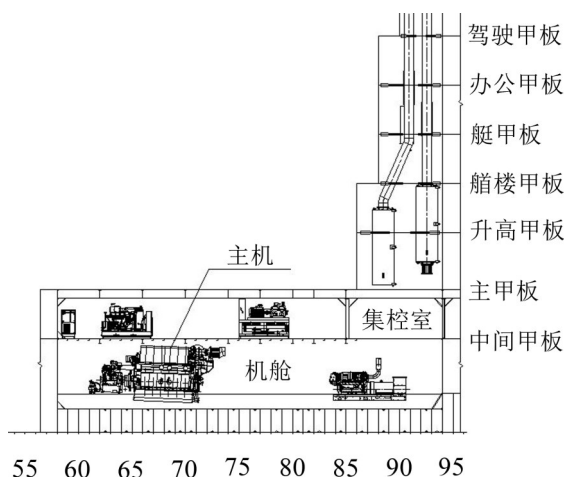


图1 机舱纵剖图

1.2 统计能量法(SEA)理论

统计能量法是将一个复杂结构的振声系统分成若干个相互耦合的子系统,每个子系统在某个频率范围内都有若干共振频率,也可以认为这些共振频率是由多个振子组成的振子群产生的。在每个振子群中,能量储存于弹性和惯性元,通过阻尼元耗散,并且能量可以经耦合元传递到其他振子群。SEA法的目标是根据系统的各参数建立各子系统的能量流动关系,最后导出能量平衡方程,通过求解能量平衡方程可以得到每个子系统的能量,从而得到所求的振动响应^[4]。运用统计能量法的关键是合理划分物理子系统,即必须满足相似性和显著性条件,相似性条件是指划分的每个子系统几乎具有相等的激励和阻尼,或者说相等的振动能量,显著性条件是指这些子系统在能量的传输、消耗和储存中起重要作用。另外为保证计算精度,建立统计能量模型时要求单位带宽内的模态数 ≥ 5 。

统计能量法已成功运用于航空航天、汽车和船舶等领域^[5]。

1.3 平台工作船的SEA模型

采用VA One软件进行全船建模,其步骤如下:

(1) 根据实船舱室分布和船体结构,建立全船所有子系统模型,全船划分为梁(Beam)、加筋板(Ribbed Plates)、声腔(Acoustic Cavities)和半无限流体(Semi-infinite Fluids)四类子系统。半无限流体是考虑舷外水对船舶振动噪声的影响。为建模和计算方便,在保证模型精度前提下,将门窗统一建成板。

(2) 定义材料属性和物理属性:定义模型中用到的材料的物理属性,如使用的钢板的密度、弹性模量、泊松比等;定义模型中使用的各种梁、板的结构形式、材料和厚度等。

(3) 创建子系统和子系统的连接,确保所有子系统之间完全耦合,能量在子系统间传递正常。

(4) 计算和确定激励源以及板、声腔的内损耗因子。

(5) 求解,输出结果。

1.4 激励源的确定与计算

机舱集控室噪声由“空气声”和“结构声”组成,并且由于集控室位于机舱内,两种噪声能量都很大。空气声是主辅柴油机等声源产生的辐射声,经空气媒质等传播并透过集控室地板和围壁进入室内的;结构声是主辅柴油机与螺旋桨等机械产生的振动,经过船体结构传播至集控室6个面,并向室内辐射的。

舱室噪声预测选取主机100 % MCR航行工况。由于该船辅机安装有减振器和标称消减能力为35 dB(A)的消声器,其振动和噪声激励比主机小很多,对全船舱室包括集控室的影响可以忽略。集控室内虽装有空调,但空调噪声值小于55 dB(A)。因此该船航行工况下的激励源主要是主机的辐射声激励、主机作用在船体主机座上的结构激励和螺旋桨的脉动压力对船底板的激励。

主机和螺旋桨激励大小采用经验公式来估算^[1,6]。模型中分别表现为柴油机的辐射声功率级、柴油机机脚处的振动加速度级和螺旋桨振动加速度级,其频谱如图2所示。

2 噪声预测结果及集控室声能量分析

2.1 噪声预测结果

图3为该船舱室的噪声云图,预测的舱室数共61个。

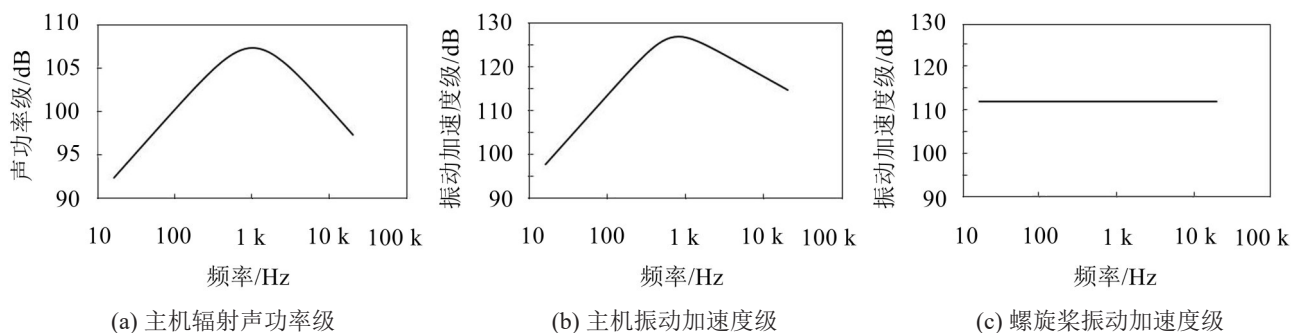


图2 激励力频谱

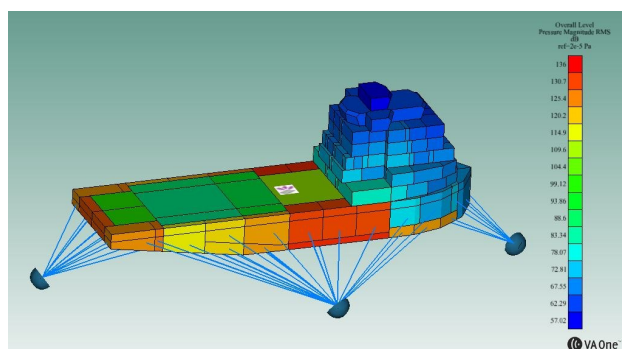


图3 全船噪声云图

为验证预测结果的可信性,进行了实船舱室噪声测量^[7]。测量仪器选用 Larson Davis Model 831 一类精密积分声级计。这里仅选取各层甲板上代表性舱室共 11 个,列出其 A 计权后噪声预测值与测量值进行对比,如表 1 所示。

表1 噪声实测值与预测值对比表/dB(A)

舱室位置	舱室名称	实测值	预测值	误差
中间甲板	集控室	78.8	81.9	+3.1
主甲板	医务室	72.3	72.9	+0.6
	左舷办公室	63.8	64.4	+0.6
升高甲板	4 人间 216	58.6	63.6	+5.0
	4 人间 210	58.4	62.1	+3.7
艏楼甲板	4 人间 316	60.8	63.1	+2.3
	4 人间 309	57.3	62.1	+4.8
艇甲板	2 人间 414	60.9	61.1	+0.2
办公甲板	办公室 506	53.5	55	+1.5
	4 人间 513	55.8	58	+2.2
驾驶甲板	驾驶室	59.8	57.4	-2.4

可以看出,误差范围均在 5 dB(A) 以内,预测结果可以接受。除驾驶室由于电子设备噪声原因,其实测值比预测值大以外,实测值都比预测值略小。

集控室的噪声预测值为 81.9 dB(A),实测值 78.8 dB(A),都超出了噪声限值。表中舱室噪声预测值均考虑了舱室内装材料,原船集控室地板为常规 A60 级防火方案,即甲板上敷设 42 mm 厚耐火甲板敷料加 5 mm 厚橡胶合成地板;围壁和天花板采用钢

板加微穿孔复合岩棉板,同时集控室安装了隔声量在 30 dB(A) 以上的隔声门与隔声窗。原船降噪方案集控室仍超标 3.8 dB(A)。

2.2 集控室声能量输入及分析

为了对集控室进行有效的降噪设计,采用软件模拟集控室未加内装材料时的噪声值为 95.2 dB(A),频谱图如图 4 所示。可以看出,在 A 计权后噪声能量主要集中在 200 Hz~3 000 Hz 频段,集控室内主要为中高频噪声。

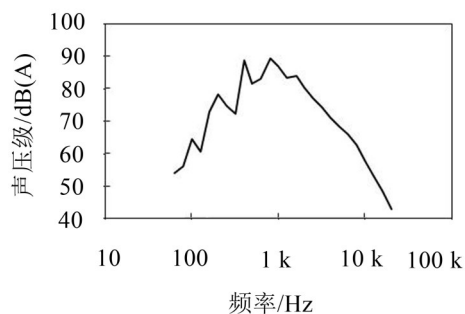


图4 无降噪措施的集控室噪声频谱图

VA One 软件可以查询相互耦合子系统间的能量输入关系^[8],通过考察集控室和它相连所有子系统的能量关系,可以知道哪些子系统对集控室声能量起主要作用,从而针对性的采取降噪措施。图 5 为无降噪措施时集控室能量输入图。

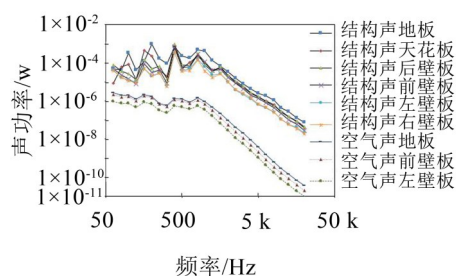


图5 无降噪措施的集控室声能量输入图

可以看出,由于集控室位于机舱中间甲板上,通过船体结构振动和辐射进入的声能量都很高。经结构振动传递入集控室的结构声,输入能量最高的子

系统为集控室地板,其后依次为后壁板、天花板、前壁板、左壁板和右壁板。空气声比结构声低一些,输入能量大的依次是集控室地板,前壁板和左壁板。

3 集控室降噪方案设计

集控室的降噪可以采用声学包设计方法,声学包是指减振降噪材料、面板材料及其基体结构材料的组合。不同的材料组合会导致不同的声学包性能或者说减振降噪效果,声学包设计要求根据不同的噪声频谱特性,选择相应的声学材料和降噪方法^[9]。

集控室要获得好的降噪效果,必须对其所有面进行处理。但经不同面进入的能量是不同的,这里考虑对集控室地板主要进行阻尼减振和隔声处理,对围壁和天花板进行吸声和隔声处理。为了消耗振动能量,在地板上喷涂一层内耗较大的黏弹性高阻尼材料,再贴上薄的钢板构成约束阻尼,其上再敷设橡胶合成地板。围壁和天花板的吸声材料主要选取超细玻璃棉和矿物棉,同时设计空气层增加吸声效果,隔声材料主要选取薄钢板和复合岩棉板,其中复合岩棉板用两层薄钢板中间夹上矿物棉来模拟。具体方案如表2所示。

VA One 软件中可以定义噪声控制处理方案(Noise Control Treatment, NCT), NCT是通过分层定义的,一个NCT可以有几个层(layer),表2中这些层表示在船体钢板上向集控室内一层层敷设的降噪材料。

采用降噪方案1后得到集控室噪声预测值为85.6 dB(A),降噪量为9.6 dB(A),未达标。对比施加NCT前后的频谱特性,如图6所示。

可以看到,200 Hz以下的低频段,在100 Hz和125 Hz降噪量为4 dB(A),在200 Hz以后,200 Hz~1 000 Hz的降噪量在6 dB(A)~10 dB(A),1 000 Hz以后降噪量逐渐增加,从20 dB(A)增加到45 dB(A),说明该方案对中高频噪声具有良好的降噪效果。

再次考察降噪后的集控室声能量输入关系,如图7所示。

从图7可以看到,在进行上述降噪处理后,集控室的声能量主要来自于集控室地板的结构声以及由

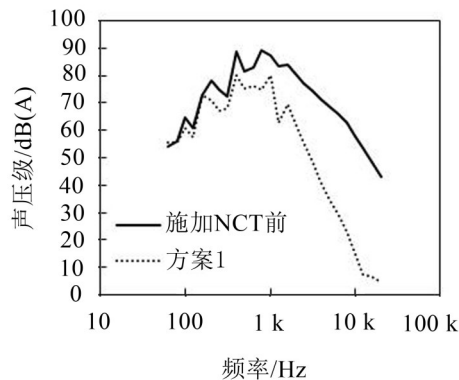


图6 施加NCT前和方案1集控室噪声频谱图

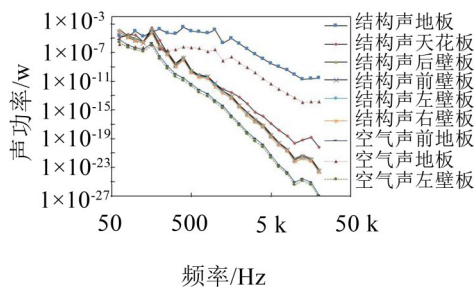


图7 降噪方案1的集控室声能量输入图

集控室地板透射进入的空气声,其他面的输入能量已大幅降低。集控室还超标10.6 dB(A),考虑到降噪方案1的不足,为加强集控室地板的吸声与减振效果,采用双层约束阻尼加上吸声的浮动设计,方案2如表3所示。

计算得到集控室噪声值为73.1 dB(A),降噪量为22.1 dB(A),集控室的噪声限值是75 dB(A),采用降噪方案2后的噪声值满足规范要求。图8是3种情况下的噪声频谱图。

从图中可以发现,频率200 Hz以下的噪声减少幅度很少,频率200 Hz以上的噪声大幅度减少,说明方案2可以非常好地削减中高频的噪声,对于200 Hz以下的低频噪声,降噪效果一般。而与方案1相比,方案2只在地板上增加了一层吸声材料和一层阻尼材料,说明对集控室的地板进行降噪处理时,双层约束阻尼结构可以使地板振动大大衰减。另外不能只考虑减少地板结构声,空气声也大量从地板进入集控室,如果增加一层吸声材料,会取得很好的效

表2 集控室降噪方案1

NCT层数	集控室地板	集控室围壁	集控室天花板
Layer 1	阻尼层 1.5 mm	矿物棉 50 mm	超细玻璃棉 50 mm
Layer 2	钢板 3 mm	空气层 50 mm	空气层 50 mm
Layer 3	橡胶合成地板 20 mm	钢板 1 mm	钢板 1 mm
Layer 4		矿物棉 30 mm	矿物棉 30 mm
Layer 5		钢板 1 mm	钢板 1 mm

表 3 集控室降噪方案 2

NCT 层数	集控室地板	集控室围壁	集控室天花板
Layer 1	阻尼层 1.5 mm	矿物棉 50 mm	超细玻璃棉 50 mm
Layer 2	矿物棉 30 mm	空气层 50 mm	空气层 50 mm
Layer 3	阻尼层 1.5 mm	钢板 1 mm	钢板 1 mm
Layer 4	钢板 3 mm	矿物棉 30 mm	矿物棉 30 mm
Layer 5	橡胶合成地板 20 mm	钢板 1 mm	钢板 1 mm

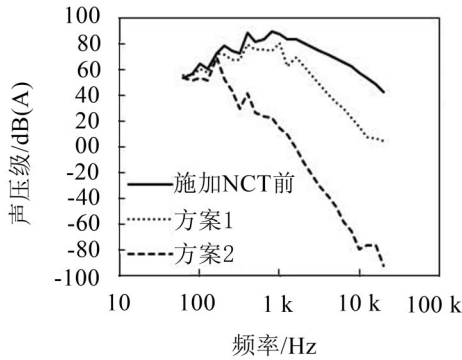


图 8 施加 NCT 前、方案 1 和方案 2 的集控室噪声频谱图

果。

需要注意的是,建立船舶 SEA 模型时,为满足绝大多数子系统的模态数 ≥ 5 的要求,应尽可能少拆分面,所以门窗都统一为建成的板。为了满足舱室隔声量要求,集控室必须采用隔声量一致的隔声门与隔声窗,并且要做好门窗的缝隙处理。

4 结 语

基于某平台工作船,利用 VA One 软件,建立其统计能量模型,进行了包括集控室在内的舱室噪声预测,分析了集控室声能量输入途径及排序,根据集控室噪声频谱特性及软件 NCT 功能,采用声学包设计方法进行了降噪设计,结论如下:

(1) 船舶机舱集控室距离激励源近,声能传递途径复杂,结构声和空气声对集控室的影响都非常大,必须高度重视集控室的噪声控制,为轮机人员创造一个相对安静舒适的工作环境。

(2) 在船舶设计阶段如果能进行舱室噪声预报,可以大大节省由于事后发现噪声超标而进行改造的费用。在舱室噪声预测时,可以根据集控室的噪声频谱特性和声能量组成,选择不同材料组合,利用 VA One 的 NCT 功能进行声学包的优化设计,比

如最优的材料组合形式和材料厚度。这种方法同样也适用于其他舱室的噪声控制,特别是声源复杂,降噪处理难度大的舱室。这样可以较好解决仅凭经验选择降噪材料时,由于声源特性不同和声能量传递途径复杂、降噪效果不理想的问题,并且能兼顾降噪成本。

(3) 集控室地板往往是噪声能量最大输入者,要同时做好减振和隔声吸声处理,采用双层约束阻尼结构可以使地板振动获得很大衰减。集控室围壁和天花板可以采用带空气层且填充吸声材料的双层结构。隔声门与隔声窗的隔声量要与围壁一致。

(4) 由于集控室位于机舱内,选择降噪材料时要考虑机舱防火等级要求。

参考文献:

[1] 中国船级社. 船舶及产品噪声控制与检测指南[S]. 中国船级社,2013.

[2] 陈小剑. 舰船噪声控制技术[M]. 上海:上海交通大学出版社,2012.

[3] 梁炳南,于洪亮,蔡延年. 浮动舱室设计对船舶机舱舱室振声性能的影响[J]. 舰船科学技术,2015,37(2):24-29.

[4] 姚德源,杨福家,王其政. 统计能量分析原理及其应用[M]. 北京:北京工业大学出版社,1995.

[5] 李峰,徐芹亮,滕瑶,等. 统计能量法在船舶噪声与振动控制中的应用[J]. 噪声与振动控制,2011,31(6):152-155.

[6] 尼基福罗夫. 船体结构声学设计[M]. 北京:国防工业出版社,1998.

[7] 张春宇,樊红,盛玉梦. 85 m 平台工作船噪声分析[J]. 航海工程,2015,44(6):69-72.

[8] 夏代波,季振林,刘洋,李卓亮. 三体高速船舱室噪声预报与控制[J]. 噪声与振动控制,2014,34(2):119-122.

[9] 高处. 船舶舱室声学优化设计理论与方法研究[D]. 上海:上海交通大学,2015.