

文章编号:1006-1355(2017)04-0100-05

VA One在舱室噪声预报中的应用

郭云松¹, 丁 炜¹, 周相荣¹, 蒋维钢²

(1. 中国船舶重工集团公司第七〇四研究所, 上海 200031;

2. 汉高(中国)股份有限公司, 上海 201203)

摘要:介绍统计能量法的基本理论,并以某科考船为分析对象,利用VA One软件进行舱室噪声预报,分析声学材料、阻尼材料及空调噪声对舱室噪声的影响。结果发现:添加声学材料后,舱室噪声下降显著;3种阻尼方案总体上来说对舱室噪声影响差别不大,但从重量方面考虑,方案二优于其它2种;选用具有良好降噪效果的布风器,可减小空调噪声对上层建筑舱室噪声的影响。

关键词:声学;VA One;统计能量法;舱室噪声;阻尼材料;空调噪声

中图分类号:U66

文献标识码:A

DOI编码:10.3969/j.issn.1006-1355.2017.04.020

Application of VA One in Ship Cabin Noise Prediction

GUO Yun-song¹, DING Wei¹, ZHOU Xiang-rong¹, JIANG Wei-gang²

(1. 704 Institute of CSIC, Shanghai 200031, China;

2. Henkel (China) Company Limited, Shanghai 201203, China)

Abstract: The basic theory of Statistical Energy Analysis (SEA) is introduced. The VA One software is used to predict the cabin noise of a ship. The influences of acoustics material, damping material and air-conditioning noise on the cabin noise are analyzed. The results show that the cabin noise of the ship is reduced evidently when the acoustics materials are added. The effects of three different damping schemes for the ship cabin noise reduction are nearly the same. But in the point of view of the weight of the damping material, scheme 2 is better than the other two. By selecting the air diffuser with high noise reduction effect, the influence of air conditioning noise on the superstructure noise level can be greatly reduced.

Key words: acoustics; VA One; statistical energy analysis method; ship cabin noise; damping material; air-conditioning noise

现代船舶设计除满足功能要求外,对船上主要生活区和主要工作舱室提出了更加严格的噪声控制要求。船舶噪声不仅会影响舱内各种仪器、设备的正常运行,导致某些结构声振疲劳破坏,还会影响船员及乘客的舒适性,损害身体健康。因此在船舶设计时提前预测各舱室的噪声值,对不满足相关规范或船东要求的部位提前采取有力的振动噪声控制措施,不仅能有效达到降低舱室噪声的目的,还能避免在船舶建造完成后因采取补救和改动措施而造成的巨额开销,同时缩短造船周期,降低造船成本。在船舶设计阶段对舱室噪声进行预估,为设备选取、舱室布置、材料选择、声学设计等提供参考意见,具有较

大的实际工程应用价值^[1]。

VA One 是法国 ESI 集团于 2005 年推出的全频段振动噪声分析软件^[2],它把有限元分析(FEA)、边界元分析(BEM)、统计能量分析(SEA)及其混合分析集中于一个易于进行模拟的环境。同时,VA One 提供有限元、边界元和统计能量分析是一种严格的耦合形式,能够统一而可靠地进行全频段范围的求解。

基于此,文中针对某科考船,利用 VA One 软件中的 SEA 原理进行全船舱室噪声仿真计算,得出各舱室的噪声水平,为舱室的声学处理优化设计提供理论依据,评估舱室噪声设计目标的可行性以及对分析噪声处理材料的优劣。

1 分析理论基础

统计能量分析简称 SEA (Statistical Energy Analysis),是基于统计平均的概念,将结构按其几

收稿日期:2017-01-16

作者简介:郭云松(1979—),男,辽宁省喀左县人,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向为船舶辅机设备减振、降噪、抗冲击。

E-mail: kayunsong@163.com

何、物理等参数划分成子系统,考虑子系统之间的能量传递,最终由能量方程组求解得到各子系统平均能量的一种方法^[3-6]。它运用能量流关系式对复合的、谐振的组装结构进行动力特性、振动响应级及声辐射的理论评估,是一种在时间上和空间上的统计特性分析,这些能量流关系式在组成结构的各种耦合的子系统(如板、壳等)之间具有一个简单的热类比。在应用统计能量分析理论时,将船舶划分为若干个子系统,并假定各子系统之间的主要能量流是由结构共振或声学模态引起的,即统计能量分析通常是关于各个共振振荡器组之间的能量或功率流分析。

船体每个结构(或声学)子系统都具有一个分别与其时间平均和空间平均的均方振动速度 $\langle v_i^2 \rangle$ (或

均方声压 $\langle p_i^2 \rangle$)成比率的稳态能量水平,即

$$\begin{aligned} E_i &= m_i \langle v_i^2 \rangle \\ E_i &= \frac{V_i}{\rho c^2} \langle p_i^2 \rangle \end{aligned} \quad (1)$$

式中 E_i 为子系统能量; m_i 为子系统质量; ρ 为介质密度; c 为声音在介质中的传播速度; V_i 为声空间的体积。

一个子系统定义为一个具有共振模态性能的有限区域,它的响应假设是在频带 Δf 内包括同类型 n_i 个模态的区域里的混响。子系统的有限带宽能量利用功率平衡的概念来估计,并考虑到子系统间的耦合互易性,它们的平均模态能量取决于以下功率流平衡方程组的解^[7]。

$$\begin{bmatrix} \left(\eta_1 + \sum_{j \neq 1}^k \eta_{1j} \right) n_1 & -\eta_{12} n_1 & \dots & -\eta_{1k} n_1 \\ -\eta_{21} n_2 & \left(\eta_2 + \sum_{j \neq 2}^k \eta_{2j} \right) n_2 & \dots & -\eta_{2k} n_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ -\eta_{k1} n_k & -\eta_{k2} n_k & \dots & \left(\eta_k + \sum_{j \neq k}^k \eta_{kj} \right) n_k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{E}_1 / n_1 \\ \overline{E}_2 / n_2 \\ \dots \\ \overline{E}_k / n_k \end{bmatrix} = \frac{1}{\omega} \begin{bmatrix} \overline{P}_1 \\ \overline{P}_2 \\ \dots \\ \overline{P}_k \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中 \overline{E}_i 、 \overline{P}_i 、 n_i 、 η_i 分别为第 i 个子系统的平均能量、平均输入功率、模态密度以及能量损耗系数; η_{ij} 为第 i 个子系统和第 j 个子系统之间的能量传递损耗系数; ω 为(有限带宽中心)圆频率。

高于200 Hz频段范围内的声响应具有多模态特性,且空气传播声占主要地位。统计能量法对于受高频、宽带随机激励的复杂结构动力响应及其噪声辐射问题尤为有效^[8]。根据上面所述理论,就可以运用SEA预测该频段范围内舱室空间的平均声压级。

2 全船噪声预测模型

考虑到实际提供的模型输入和工程分析的特殊性,经合理的声学简化处理,建立整船SEA模型。SEA模型建立流程如图1所示。首先根据两维图样

建立三维架构数据,再由数模三维架构数据组生成三维有限元网格。

三维有限元网格导入VA One分析软件,建立整船SEA模型(图2)。该模型包括约1360个面板子系统和316个声空间子系统。

整船SEA模型中板系统的声传递损失以及阻尼因子均可通过子系统试验或仿真计算的方法得到。由于各部位板的组成结构不同,先计算板系统的声传递损失特性,然后将其输入整船模型,对简化整船SEA模型和提高分析效率有着重要意义。

3 设计输入

3.1 主要参数

全船结构和声学信息关系到SEA模型的建立和准确性,极其重要,计算中所需要输入的信息主要

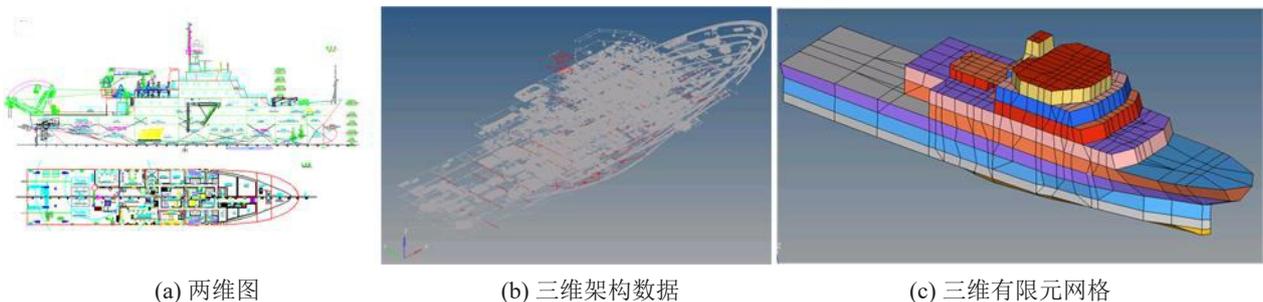


图1 VA One建模流程示意图

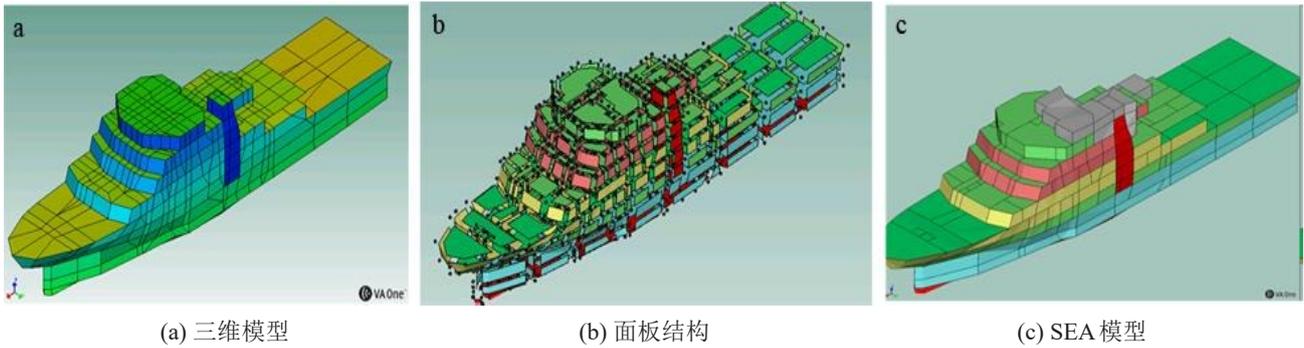


图2 整船SEA建模过程示意

包括:全船FE模型,包括结构/外形/布置信息;甲板-船体厚度、材料;阻尼材料分布、材料;敷料材料分布、材料;防火材料分布、材料性能;门-窗系统声学参数及其它声学相关信息。

3.2 噪声源及载荷信息

船舶主要噪声源主要有以下几类^[9]:机械(或机械空气)噪声、电磁噪声、流体动力噪声。机械噪声是由固体的振动扰动周围空气而产生的空气噪声,电磁噪声是电流与磁场相互作用引起振动而产生的空气噪声,流体动力噪声既包括流体动力引起的机械噪声,又包括流体运动(流体排出或吸入、压力脉动、漩涡破裂和空泡等)的噪声。在船上不同的装置和场合,分别或同时出现上述噪声。

噪声源产生的噪声通过空气介质和船体结构两种途径传播,以空气噪声和结构噪声两种方式传播,图3给出噪声源传播的各种方式。

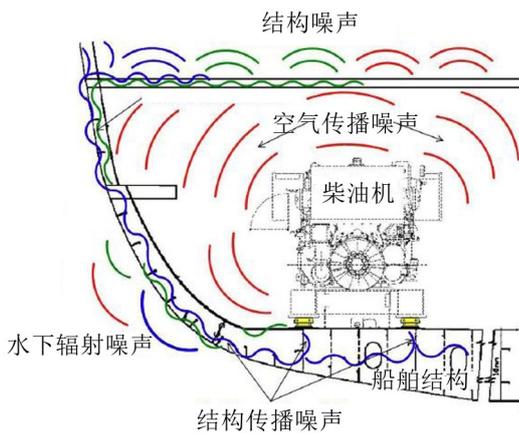


图3 噪声源传播方式

一个噪声源既能直接激发空气振动,以空气噪声方式穿过舱壁、甲板、天花板,沿着通风道,经过网孔、舱口、窗、非密门等传播,也能通过承受各种机械力的基座或各种非支撑性的撑件产生振动,以结构噪声方式传递。结构振动以弹性波形式在基座、船体结构、舱室的外围结构中传播,并在传播中辐射空气噪声。舱室内的噪声几乎全部来源于空气噪声;

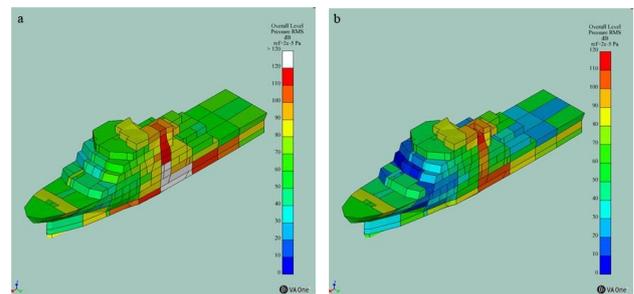
距离声源稍远的居住舱室的噪声则主要来源于结构噪声。

考虑到噪声源的复杂性及其贡献度的大小,仿真分析载荷的选择包括动力系统噪声、排气噪声、风机噪声和其他大型辅机设备的噪声。由于噪声工况的复杂性,舱室声学包虚拟评估分析主要考虑静置状态噪声源负载最大的噪声。添加以上几大噪声源激励载荷后进行全船舱室噪声预报。

4 结果分析

4.1 声学材料的影响

建立整船SEA模型,定义各舱壁、甲板厚度以及噪声源位置、特性后,计算舱室噪声结果(见图4(a))。同时根据各舱室的舱壁及天花板所附声学材料信息,包括阻尼材料、吸声材料等信息,计算全船舱室噪声(见图4(b)),将两张云图进行对比可以发现,相同部位的舱室噪声在添加声学材料后有很大程度的降低。为进一步分析内部舱室的噪声水平,可针对某一甲板进行详细分析。



(a) 无声学材料

(b) 声学材料处理

图4 全船舱室噪声

以艏楼甲板为例,图5给出添加声学材料后艏楼甲板的舱室噪声值,与目标值进行比较,发现添加声学材料后艏楼甲板各舱室的噪声值均满足目标值要求。

4.2 阻尼材料选择

甲板或舱壁上涂覆阻尼材料可有效减小振动及其引发的结构噪声,但阻尼材料的使用又会使重量

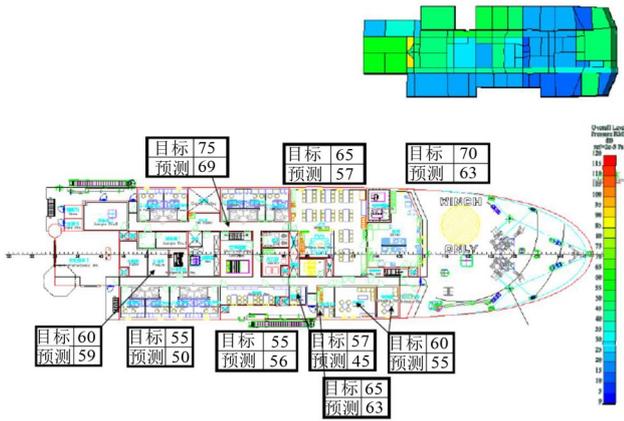


图5 艙楼甲板对应舱室噪声云图(含声学材料)

和成本增加,如何在噪声和重量、成本之间进行优化处理,寻求平衡变得尤为重要。

共选用3种阻尼配置方案,方案一为原设计方案,即4.1节中的计算结果,方案二选用新配方阻尼材料,单位重量低于方案一,但新配方阻尼材料的损耗因子高于方案一所用的阻尼材料。方案三则在方案一的基础上,对阻尼材料的厚度减少2 mm。分析比较这3种阻尼方案对舱室噪声的影响,结果对比如表1所示。

从表1可以看出,3种阻尼配置方案的预测结果虽有些差异,但总体上来看,并不显著,与方案一相比,变化幅值为-1 dB(A)~2 dB(A)。从舱室噪声水平考虑,方案二最佳,艙楼甲板各舱室的噪声水平都有一定程度降低;从重量上考虑,相对方案一而言,

方案二与方案三都减轻了阻尼材料的重量,但是方案三中阻尼材料的配置使得各舱室的噪声水平在一定程度上提高了。综合噪声与重量两方面因素,方案二的阻尼配置最佳。

4.3 空调噪声影响

对于上层建筑的舱室噪声,由于增加了空气声的传递路径,从机舱辐射出来的噪声已随距离衰减,与噪声源临近舱室相比,辐射噪声已经不是上层建筑舱室噪声的主要影响因素,此时,舱室内布风口的空调噪声成了较主要的影响因素。空调噪声由空调器产生,经管系和布风器衰减后传至舱室内,与舱室内本底噪声叠加。由于各厂家的空调器噪声水平差别不显著,管系的自然衰减较小,布风器的降噪水平直接影响空调噪声的大小。本科考船设计中,选用的布风器插入损失如表2所示。在空调噪声的影响下,艙楼甲板舱室噪声计算结果如表3所示。

从表3可以看出,在空调开启的工况下,仅少数几个舱室的噪声水平有1 dB(A)的提高,这主要是因为设计时所选用的布风器具有较好的降噪效果,插入损失达20 dB(A)以上,使得经布风器衰减后传至舱室内的空调噪声相对较小,低于机舱等其他噪声源传至相应舱室的空气声,对舱室噪声的贡献小。

5 结语

在船舶设计开发过程中,采用VA One软件对舱

表1 阻尼材料变更后目标区域噪声预测结果对比/dB(A)

甲板	处所	目标值	方案一	方案二	方案三
艙楼甲板	卧室	58	57	↓0.6	↑1.3
	样品库(冷库压缩机旁)	65	59	↓0.6	↑1.5
	餐厅	65	57	↓0.6	↑1.3
	厨房	70	63	↓0.6	↑1.3
	阅览室	55	56	↓0.5	↑1.3
	值班室、甲板部办公室	57	56	↓0.5	↑1.2
	值班员餐厅	65	63	↓0.5	↑1.2
	休闲厅	60	55	↓0.5	↑1.2
	吸烟室	60	55	↓0.5	↑1.2
	通道	75	69	↓0.9	↑1.6

备注:“↓”表示噪声降低,“↑”表示噪声升高

表2 某型布风器插入损失/dB(A)

频率/Hz	工况	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000	A
插入损失	静态	1.8	7.1	19.0	24.8	27.8	26.4	24.9	23.9
	200 m ³ /h	3.6	8.0	18.9	23.5	28.1	26.8	24.8	23.7
	250 m ³ /h	0.5	6.5	17.5	22.8	28.1	28.2	28.7	23.4
	350 m ³ /h	0.3	4.5	17.1	22.5	27.9	26.5	28.4	22.9

表3 船楼甲板噪声预测结果对比(空调开启与否)/dB(A)

甲板	处所	目标值dB(A)	预测值	
			不开空调dB(A)	开空调dB(A)
船楼甲板	卧室	58	57	57
	样品库(冷库压缩机旁)	65	59	59
	餐厅	65	57	57
	厨房	70	63	63
	阅览室	55	56	57
	值班室、甲板部办公室	57	56	57
	值班员餐厅	65	63	63
	休闲厅	60	55	56
	吸烟室	60	55	56
	通道	75	69	69

室噪声进行预报,对平衡控制重量、成本、目标三者关系有显著作用,为船舶舱室噪声控制提供有力的数据支持。

文中比较了声学材料、阻尼材料及空调噪声的影响,发现添加声学材料后各舱室噪声水平都有很大程度的降低;选用方案二的阻尼材料布置方案,可使舱室噪声降低,同时减少材料的重量;布风器的降噪效果直接影响空调噪声,进而影响上层建筑的舱室噪声水平。

对舱室噪声的预测可为使设计达到噪声指标要求和声学材料的选择、比较提供有效支持,可应用在没有准确舱室噪声数据的前期开发过程中,指导声学处理措施以达到偏安全的结果,以便于后期根据实际测试结果局部调整声学处理方案。

参考文献:

[1] 夏侯命胜. 油船舱室噪声预报[J]. **船舶**, 2011, 22(2): 31-

37.

- [2] 邱斌. 高速船全频段噪声预报与控制方法的研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2010.
- [3] 张晶. 基于统计能量分析法的船艇机舱舱室噪声仿真[J]. **装甲兵工程学院学报**, 2006, 20(1): 58-62.
- [4] 康洪军. 声学包仿真技术在高速综合检测列车降噪设计上的应用与实践[J]. **铁道车辆**, 2012, 50(4): 17-21.
- [5] 酃茜. 高速船噪声预报与控制的方法研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2007.
- [6] 陈鑫. SEA方法在车身声振设计中的应用[J]. **汽车技术**, 2008(4): 13-17.
- [7] 施引. 船舶动力机械噪声及其控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1990.
- [8] 绍亮. 统计能量法在船舶舱室噪声预报中的应用[J]. **舰船科学技术**, 2012, 34(5): 98-100.
- [9] 王玉红. 船舶上层建筑舱室噪声预测[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003.

(上接第73页)

- [3] GONG S W, LAM K Y. On attenuation of floating structure response to underwater shock[J]. **International Journal of Impact Engineering**, 2006, 32(11): 1857-1877.
- [4] LAMB H. On the vibrations of an elastic plate in contact with water[C]. *Proceeding of the Royal Society (London)*, 1920, 98(690): 205-216.
- [5] AMABILI M, KWAK M K. Free vibrations of circular plates coupled with liquids: revising the Lamb problem[J]. **Journal of Fluids and Structures**, 1996, 10 (7): 743-761.
- [6] KWAK M K. Hydroelastic vibration of rectangular plates [J]. **Journal of Applied Mechanics**, 1996, 63: 110-115.
- [7] AMABILI M, FROSALI G, KWAK M K. Free vibrations of annular plates coupled with fluids[J]. **Journal of**

Sound and Vibration, 1996, 191 (5): 825-846.

- [8] KWAK M K, KIM K C. Axisymmetric vibration of circular plates in contact with fluid[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 1991, 146 (3): 381-389.
- [9] AMABILI M, DALPIAZ G. Vibrations of base plates in annular cylindrical tanks: theory and experiments[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 1998, 210 (210): 329-350.
- [10] KOZLOVSKY Y. Vibration of plates in contact with viscous fluid: Extension of Lamb's model[J]. **Journal of Sound and Vibration**, 2009, 326 (1-2): 332-339.
- [11] 湛勇, 华宏星, 汪玉, 等. 超弹性夹芯覆盖层的水下爆炸防护性能[J]. **爆炸与冲击**, 2009, 29(4): 395-400.