

文章编号:1006-1355(2009)05-0116-05

船艇机舱的吸声降噪研究

苑改红¹, 王宪成², 张晶²

(1. 装备指挥技术学院 士官系, 北京 102249; 2. 装甲兵工程学院 机械工程系, 北京 100072)

摘要: 针对某型船艇机舱进行噪声测试及频谱分析, 计算混响对舱室噪声的影响。利用新型阻性吸声材料三聚氰胺泡沫塑料, 对机舱混响加以控制。以统计能量分析法为基础, 编制船艇机舱吸声仿真计算软件, 为船艇机舱噪声预测分析和吸声降噪设计提供理论指导。按照设计方案实船安装三聚氰胺泡沫塑料并进行噪声测试, 机舱平均声压级降低了 5.6dB(A), 达到设计要求。

关键词: 声学; 机舱噪声; 频谱分析; 统计能量分析法; 吸声降噪

中图分类号: TJ81.4 文献标识码: A

Application of Melamine Foam for Acoustic Absorption of Military Ship's Engine Room

YUAN Gai-hong¹, WANG Xian-cheng², ZHANG Jing²

(1. Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 102249, China;
2. Academy of Armored Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: Engine room's noise is the main noise source. The noise signal of the engine room of a military ship is measured and its spectrum is analyzed. The main radiation frequency of the noise is found. The contribution of reverberation sound to engine room noise is studied. The scheme for reverberation sound control is worked out, in which a new damping sound-absorption material, the melamine foam, is utilized. Based on the statistical energy analysis (SEA), the geometrical model, the physical model and the mathematical model of the engine room are established. The software for simulating sound absorption of the engine room is made. According to the scheme of design, the melamine-formaldehyde? foam coating is equipped in the engine room and then the noise testing is carried out. Result shows that the noise of the engine room is reduced 5.6dB(A).

Key words: acoustics; engine room's noise; spectral analysis; statistical energy analysis; sound absorption

船艇柴油机的振动和强噪声不仅给船员的正常工作带来困难,而且对装备作战性能及保障产生了严重影响。机舱的噪声主要来自于主柴油机,因此控制噪声的重点就是对主柴油机的噪声予以抑制。对于柴油机噪声过大问题,国内外做了很多相关的研究。可以通过降低声源噪声(主动法)和控

制噪声的传播途径来(被动法)控制噪声。对于通过机械表面向外辐射的机械噪声和燃烧噪声,采用隔声、隔振可以取得较好的效果。日本研制出柴油机底部通风多孔隔声板,在汽车柴油机使用,针对柴油机底部强噪声取得了很好的效果。通过在柴油机表面贴装或喷涂阻尼材料,利用材料的内粘性摩擦可将部分机械能转化为热能^[1],从而达到减振和减小辐射噪声的目的,该技术主要应用于大型舰艇的降噪。根据著名声学专家、中科院院士马大猷教授微穿孔板吸声结构理论研制的微穿孔板消声器,在噪声控制工程上有着越来越广泛的应用。尽

管国内外对柴油机降噪技术的研究甚多,但其主要是针对固定的柴油机实施降噪,如柴油机房、动力实验室、车间等。而对于动态场合(船舶)的研究,不论从理论上或实践中均不多见。日本学者乾正幸将隔声理论应用于客车降噪^[2],采取隔声吸声等措施之后,整车降5dB(A)。大连理工大学马金胜将隔声罩技术应用于客车车发动机降噪^[3],也取得了较为明显的效果。对于封闭空间,混响对噪声的影响较大,吸声降噪是有效降低机舱混响的有效措施,同时结合隔声、隔振等来达到降噪目的。本文以某小型船艇噪声过高的现象,对混响噪声进行吸声控制。

1 船艇机舱噪声测试与分析

1.1 测试工况

船艇发动机主要技术参数为:

主柴油机额定功率为250 kW(两台);发电机组发电机额定功率24 kW,柴油机功率12 kW(两组)。

两台柴油机转速1 700 r/min,右侧发电机转速1 500 r/min,两台风机正常工作,船艇在海上运行,航速12节。其它舱室仪器设备按正常工作情况运行,船上门窗按工作状况保持开闭状态。

1.2 测试结果与噪声频谱特性分析

根据《GJB 153.2-1986 水面舰艇舱室噪声测量》标准,对船艇机舱噪声进行测量。

测点分别布置在舱内点、舱外点、人员站立点,传声器探头离地面1~1.2 m,朝向机舱内主要噪声源,如图1所示。

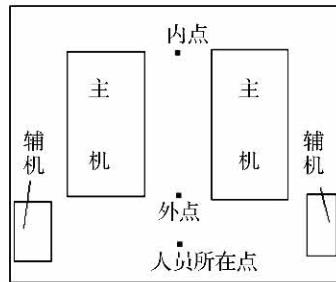


图1 舱室噪声测点布置

Fig. 1 Positon of the testing point

结果表明,船艇在海上航行时,机舱噪声最高值超出军用标准规定18.4dB(A),远远超过噪声规定的限值,如表1所示。

表1 机舱内各测点噪声级

Table 1 Sound level of each testing point

测量点	A计权分贝值 dB(A)	军标规定的机舱噪声限值 dB(A)
内点	108.4	90
外点	108.2	
人员所在点	106.8	

以人员所在点为例,对时域信号进行频谱分析,如图2所示

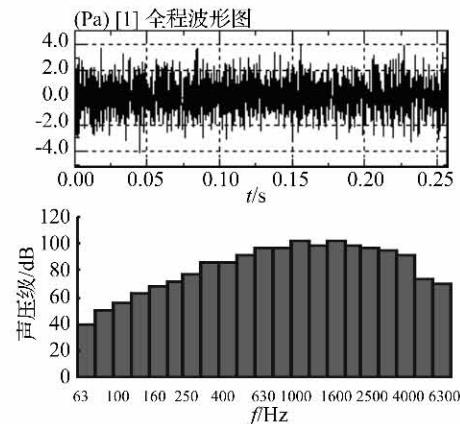


图2 人员所在点噪声频谱图

Fig. 2 Noise spectrum on person's point

分析结果表明,该船艇噪声在500 Hz~3 000 Hz噪声声压级出现峰值。

1.3 混响对机舱噪声的影响

船艇机舱壁面及内部装置多为金属材料,其吸声系数极低,机舱内的声场可以看作自由空间的直达声和由许多反射声形成的混响叠加在一起形成复杂的声场^[4]。

主柴油机为机舱内主要噪声源,近似为点声源,混响半径 r_0 为^[4]

$$r_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{RQ}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

R——房间常数;Q——声源的指向因数。

设舱壁的平均吸声系数 $\bar{\alpha}$ 为0.1,机舱内表面积约为104 m²,则 $R = \frac{\bar{\alpha}}{1 - \bar{\alpha}} = 11.5$,声波入射到刚性反射面上,取 $Q=2$,则混响半径

$$r_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{RQ}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

即相对于一台主柴油机而言,其产生的噪声在距其0.67 m内,以直达声为主,在距其表面0.67 m外,以混响声为主。

船艇机舱内有多个声源,其内一定位置上的声

场实际是最近声源的直达声场和所有声源的混响声场叠加而成。当离开声源的距离 r 大于混响半径 r_0 时, 舱内某点的声压级为

$$L_{p\text{内}} = L_w + 10\lg\left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right] \quad (2)$$

代入 $R = 11.5$,

$$\text{则 } L_{p\text{内}} = L_w + 10\lg\left[\frac{2}{4\pi r^2} + \frac{4}{11.5}\right] \text{ 对于室外某点,}$$

房间常数 $R = \frac{S\alpha}{1 - \alpha}$ 近似为无穷大, 声源的指向因数

$Q = 1$, 其混响半径 r_0 为无穷大。室外某接收点上的声压级主要是直达声, 即

$$L_{p\text{外}} = L_w + 10\lg\left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right] = L_w + 10\lg\frac{Q}{4\pi r^2}$$

在直达声与混响声的共同作用下, 当离开声源的距离大于混响半径时, 接收点上的声压级与声源在室外相同距离处(此情况认为无混响)的声压级之差为

$$\Delta L_p = L_{p\text{内}} - L_{p\text{外}} = 10\lg\left(2 + \frac{16\pi r^2}{11.5}\right)$$

根据机舱的具体尺寸, 假定接收点距离声源的距离为 1.5 m, $\Delta L_p = 10.7$ (dB), 假定接收点距离声源的距离为 2 m, $\Delta L_p = 12.9$ (dB)。

封闭空间内, 在直达声与混响的共同作用下, 当离开声源的距离大于混响半径时, 舱内接收点上的声压级要比室外同一距离处高出 10~15 dB(A)。因此, 在不改变声源直达声的情况下, 可采用吸声饰面来降低机舱混响声, 从而使噪声声压级降低。一般声压级降低 5~7 dB(A) 是较切实可行的^[4]。

2 三聚氰胺泡沫塑料的性能

对于船艇机舱吸声降噪, 在吸声饰面材料的选择上, 应考虑船艇的服役条件及人员的健康要求, 选择重量轻、吸声性能优异、阻燃、低烟无毒、健康环保的材料。

2.1 三聚氰胺泡沫塑料的性能

三聚氰胺泡沫塑料是一种新型的、以三聚氰胺甲醛树脂液为原料得到的有机泡沫材料, 三聚氰胺自身具有很好的阻燃性, 因此在生产过程无需添加阻燃剂^[5]; 在燃烧过程中产生的烟雾量也比一般泡沫塑料少得多, 且自动结焦不产生流淌, 符合健康环保的要求, 密度低, 且吸声性能优于常用的有机泡沫吸声材料。

图 3 是厚度为 60 mm, 密度为 7.2 kg/m³ 的三聚氰胺泡沫塑料与密度为 45 kg/m³ 的聚氨酯泡沫塑料^[4] 吸声系数对比曲线。

由图可见, 三聚氰胺泡沫塑料与聚氨酯泡沫塑料相比, 低频吸声系数相近, 中高频吸声系数较高, 特别是在 500~3 000 Hz 吸声系数较高, 符合船艇机舱噪声频谱特性。

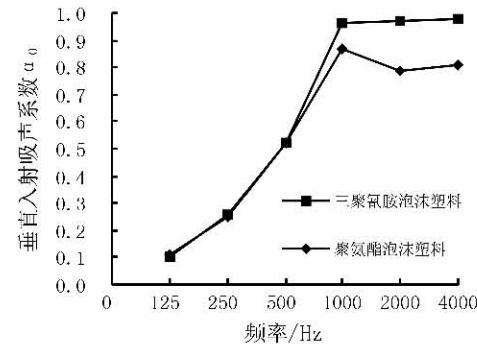


图 3 与开孔聚氨酯泡沫塑料的吸声性能比较

Fig. 3 Comparison between the melamine

2.1 密度及厚度对其吸声性能的影响

图 4 是厚度为 100 mm, 密度分别为 5 kg/m³ 和 7.2 kg/m³ 三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数。

图 5 是密度为 7.2 kg/m³, 厚度分别为 50 mm、60 mm、70 mm 的三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数。

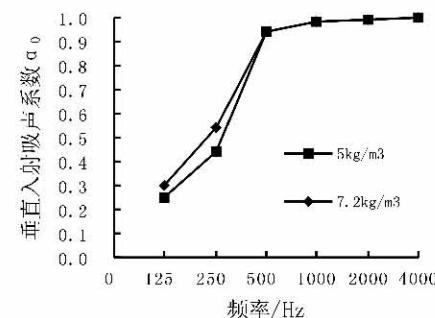


图 4 不同密度三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数

Fig. 4 Comparison of different density foams on acoustic absorption coefficient

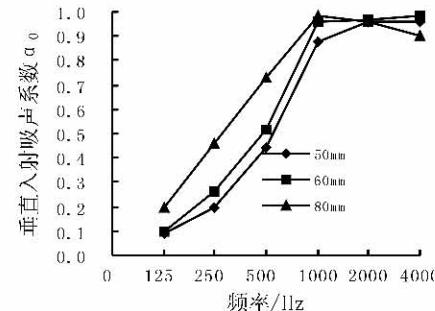


图 5 不同厚度三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数

Fig. 5 Comparison of different thickness foams on acoustic absorption coefficient

由图可见,频率高于 500 Hz,密度对吸声系数的影响很小;厚度对吸声系数的影响较密度大。随试样厚度增加,第一个共振吸收峰由高频向低频偏移,低于此共振吸收频率,吸声系数提高,在噪声贡献较大的 500~3 000 Hz 吸声系数较高。随试样厚度增加,吸声频带宽度也明显拓宽,在实际应用中,应根据噪声的频谱特性,合理选择材料的厚度,以免造成材料的浪费。

3 基于统计能量分析法的机舱吸声仿真计算分析

3.1.1 机舱 SEA 模型的建立

根据相似准则,将具有相同弯曲模态性质的部分划分为一个子系统,而对于非弯曲模态(如扭转模态)由于对辐射声场产生影响较小,可以忽略。因此将上甲板、底甲板、前后隔板和左右舷都简化为弯曲板,吸声饰面与甲板之间的连接视为保守耦合,没有阻尼,分别划为四个子系统,将舱内三维声空腔以子系统划为第五个子系统。忽略液压油箱等附件的影响,得机舱内的统计能量模型如图 6 所示。

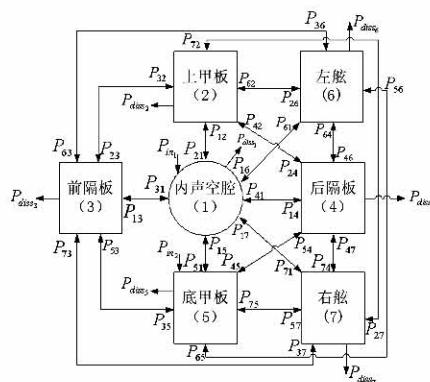


图 6 机舱内的统计能量分析模型

Fig. 6 Physical modeling of engine room

图中: P_{in_1} 为发动机表面振动声辐射对内声空腔的输入功率。

3.1.2 船艇机舱仿真计算 matlab 程序设计

在运用软件进行机舱噪声仿真计算时,先计算各子系统的模态密度,再计算各子系统的内损耗因子及各子系统间的耦合损耗因子,最后进行舱内噪声声压级的计算。

由仿真计算得到舱内总声压级为 105.77 dB(A),而实际测量时,总的声压级为 106.8 dB(A)。计算结果比实际测量结果低 1.0 dB(A)。

应用仿真计算软件,计算船艇在海上航行时的噪声声压级曲线如图 7 所示。

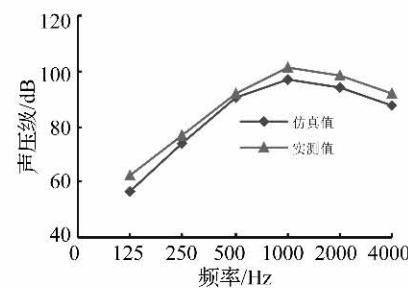


图 7 安装吸声饰面前机舱噪声 1/3 倍频特性仿真与实测值

Fig7 Calculating and testing noise radiation frequency before equipment absorption material

与实际测量值对比可知,二者在变化趋势上完全一致,在 500~3 000 Hz 噪声声压级均较高。这表明用统计能量分析法来预测机舱噪声是可行的。从实测曲线与计算曲线的比较来看,在整个频段内,计算值低于实测值。其主要原因:机舱的风机也为舱内噪声源之一,而在建立舱内 SEA 时,没有考虑风机对舱内声空腔的输入功率。

3.2 安装吸声饰面后机舱噪声计算分析

在舱壁上安装吸声饰面层,改变各子系统中能量的分布和流动,从而改善舱内噪声的分布特性,降低机舱内的声功率大小,达到降噪的目的,吸声材料的用量与降噪量有直接关系。经计算,机舱内吸声饰面可安装 53 m²左右,占整个机舱内壁面积的 50%。

考虑到机舱空间的大小,为了便于安装和不影响正常工作对空间的要求,以密度 7.2 kg/m³,厚度 60 mm 的三聚氰胺泡沫塑料作为饰面,吸声饰面体积共计 3.9 m³。安装吸声饰面前后机舱噪声机舱噪声声压级仿真值对比,见图 8。

经计算,安装饰面后得到总的声压级为 100.67 dB(A),与安装前的 105.77 dB(A)相比,降低了 5.1 dB(A)。从曲线还可看出,安装吸声饰面后,在噪声辐射的主要频段,降低效果明显,低频(≤ 400 Hz)及高频($\geq 3 000$ Hz)段降低程度较小。

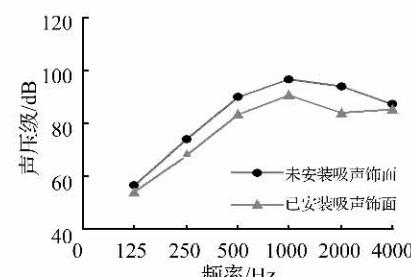


图 8 安装吸声饰面前后机舱噪声仿真计算值对比

Fig. 8 Comparison of calculating data of noise radiation frequency fore-and-aft equipment sound absorption facing

4 实船测试

为了减小测试设备、天气条件、人员等对测试结果的影响,采取在同一天、同一组设备、同一组人员对安装吸声饰面前后的噪声进行测试。

采集机舱内同一测点在同种工况,不同时刻的噪声信号,分析它们的 $1/3$ 倍频特性,各测点在各频段上声压级的对比曲线见图9。

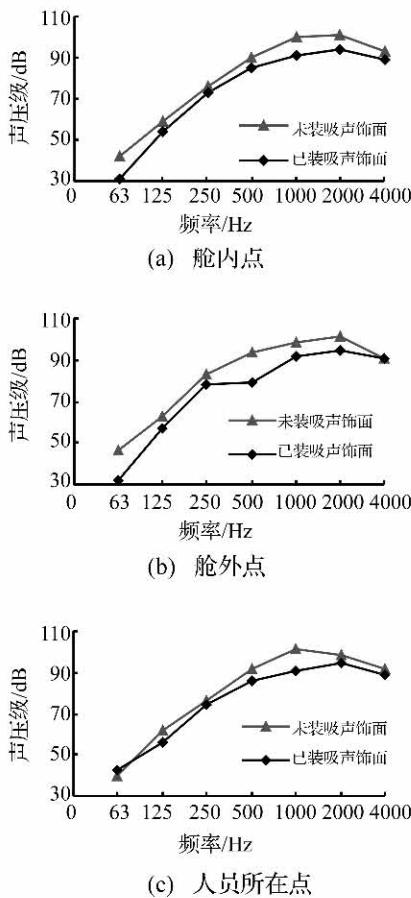


图9 安装吸声饰面前后机舱 $1/3$ 倍频噪声特性对比

Fig. 9 Comparison of noise radiation frequency fore-and-aft equipment sound absorption material

将各测点声压级进行平均,求得机舱装备噪声控制装置前平均声压级为 108.4 dB(A) ,安装吸声饰面后平均声压级为 102.8 dB(A) ,声压级降低 5.6 dB(A) ,达到设计要求。

5 结语

(1) 统计能量分析法对噪声预测基本准确,可以作为此型船艇吸声降噪的理论依据。

(2) 安装吸声饰面后,中高频噪声得到有效控制,特别是在 $500\sim2000\text{ Hz}$,其降噪量普遍在 6 dB(A) 以上,在某些频段甚至达到 15 dB(A) 以上,吸声效果与吸声饰面材料在相应频段的垂直入射吸声系数相一致。

(3) 平均噪声声压级降低 5.6 dB(A) ,达到了设计要求。机舱内不同测点的降噪量有一定差别。原因是各点与主要噪声源距离不同,混响对噪声的贡献量不同,从而降噪效果有所差别。

参考文献:

- [1] 秦文新,程熙,叶霭云.汽车排气净化与噪声控制 [M].人民交通出版社,1999:184~195.
- [2] QIN Wen-xin, CHENG Xi, YE Ai-yun. Automobile Exhaust Purification and Noise Control [M]. China Communications Press, 1999:184~195.
- [2] 乾正幸(日),高魁源.内燃动车车内隔声研究[J].国外铁道车辆,2000.6:28~31.
- [3] 马金胜.大型客车车内噪声及其控制[D].大连理工大学,2003.
- [4] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].机械工业出版社,2002.9:44,446.
- [5] Park; Chung P. Acoustic Absorption Polymer Foam Having Improved Thermal Insulating Performance: United States: 20040039072[P], 2004-02-26.
- [6] 张晶.基于统计能量分析法的船艇机舱噪声分析研究与优化[D].装甲兵工程学院,2006.