

三聚氰胺泡沫塑料在船艇机舱吸声降噪中的应用

苑改红 侯培中

(装备指挥技术学院士官系,北京 102249)

摘要 针对噪声严重影响军用船艇战斗性,而船艇噪声主要来自机舱的实际情况,对某型军用船艇机舱进行了噪声测试及频谱分析,发现机舱噪声辐射的主要频段,计算了混响对机舱噪声的影响,制定了采用吸声材料降低机舱混响的降噪方案。通过研究驻波管实验法测试不同密度、不同厚度的三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数,确定了三聚氰胺泡沫塑料的结构参数。按照设计方案实船安装了三聚氰胺泡沫塑料并进行噪声测试,其结果为机舱平均声压级降低了5.6 dB,达到设计要求。

关键词 机舱噪声 频谱分析 吸声材料 三聚氰胺 吸声 应用

噪声污染和大气污染、水污染一起被认为是当代世界范围内的三大污染^[1]。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,过高的噪声甚至会增加船艇作战指挥的失误。我国国家军用标准《GJB 153.1-86 水面舰艇舱室噪声限值》规定了适用于海军、陆军研制、建造的各型水面战斗舰艇和军用辅助船的噪声限制,其中机舱准许的最高噪声声压级为90 dB。经测量,某军用船艇机舱的噪声声压级已经达到108 dB,远远超过国家军用标准。为了控制噪声,除了控制噪声源之外,安装隔声、隔振设施,吸声饰面等都是有效的噪声控制措施,其中吸声降噪是降低混响的有效措施。笔者拟通过吸声处理对机舱噪声进行有效控制。考虑到船艇的服役条件及人员的健康要求,在吸声饰面材料的选择上,选择质量轻、吸声性能优异、阻燃、低烟无毒、健康环保的三聚氰胺材料。

1 船艇机舱噪声测试与分析

船艇发动机主要技术参数为:

(1)主柴油机:康明斯 NTA-855-M350 型/2台(250 kW,1700 r/min);

(2)发电机组:

①柴油机:X2105C-4 型/1台(24 kW,1500 r/min);发电机:TZH-24 型/1台;

②柴油机:X4105C 型/1台(12 kW,1500 r/min);发电机:TZH-12 型/1台。

1.1 测试工况

两台主柴油机转速1700 r/min,右侧发电机转速1500 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,船上门窗按工作状态保持开闭状态。

1.2 测试标准

根据《GJB 153.2-86 水面舰艇舱室噪声测量》标准,对陆军船艇机舱噪声进行测量。取舱内三点,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。

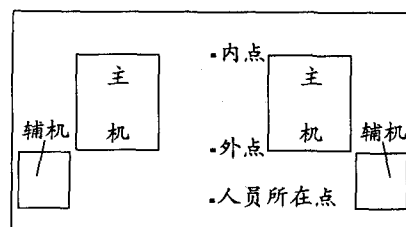


图1 机舱噪声测点布置

1.3 测试结果与噪声频谱特性分析

采集机舱内同一测点在不同时刻的噪声信号,实际测量中,采用多次采集求平均值的方法得到各测点的平均声压级值,用于对机舱噪声情况的评价。表1对机舱内各测点噪声声压级和国家军用标准规定的限值进行了比较。

表1 机舱内各测点噪声声压级

测量点	A 计权分贝值/dB	军用标准规定的限值
内点	108.4	90
外点	108.2	90
人员所在点	106.8	90

由表1测试结果表明,船艇在海上航行时,机舱噪声最高值超出军用标准规定18.4 dB,远远超过军事作业噪声规定的限值。

利用 DASP 软件对采集到的时域信号进行预处理,剔除异常点,再对时域信号进行频谱分析,其噪声频谱特性如图2所示。

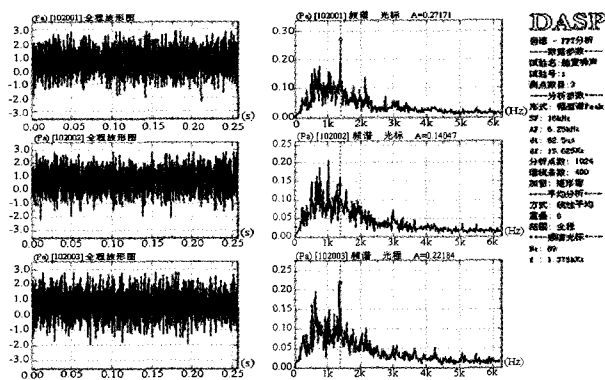


图2 人员所在点噪声频谱图

由图2分析结果表明,该船艇噪声在500~800 Hz、1000~1350 Hz频段噪声辐射频率出现峰值。

1.4 混响对机舱噪声的影响

当声源在封闭空间辐射声波时,除了直达声以外,还有许多反射声。由直达声形成的声场称为直达声场。经过壁面一次或多次反射后到达人耳的反射声形成的声场称为混响声场。船艇机舱壁面及内部装置多为金属材料,其吸声系数极低,机舱内空间结构不规则,使混响效果更加严重,机舱近似一个混响场。因此,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的复杂声场^[2]。

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^[2]:

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

式中: 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 $R = \frac{S\bar{\alpha}}{1-\bar{\alpha}} = \frac{104 \times 0.1}{1-0.1} = 11.5$,声波入射到刚性反射面上,取 $Q=2$ ^[2],则混响半径:

$$r_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{RQ}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.14 \sqrt{RQ} =$$

$$0.14 \times \sqrt{11.5 \times 2} \text{ m} = 0.67 \text{ m}$$

即相对于一台主柴油机而言,其产生的噪声在距表面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。在直达声与混响声的共同作用下,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^[2]:

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

代入 $R=11.5, Q=2$

$$\text{则 } L_{p\text{内}} = L_w + 10 \lg \left(\frac{2}{4\pi r^2} + \frac{4}{11.5} \right)$$

对于室外某点,房间常数 $R = S\bar{\alpha}/(1-\bar{\alpha})$ 近似为无穷大,声源的指向因数 $Q=1$,其混响半径 $r_0 = \frac{1}{4} \left(\frac{RQ}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}} = 0.14 \sqrt{RQ}$ 为无穷大。室外某接收点上的声压级主要是直达声,即:

$$L_{p\text{外}} = L_w + 10 \lg \left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R} \right) = L_w + 10 \lg \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (3)$$

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:

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= L_{p\text{内}} - L_{p\text{外}} = 10 \lg \left(\frac{2}{4\pi r^2} + \frac{4}{11.5} \right) - 10 \lg \frac{1}{4\pi r^2} \\ &= 10 \lg \frac{\left(\frac{2}{4\pi r^2} + \frac{4}{11.5} \right)}{\frac{1}{4\pi r^2}} = 10 \lg \left(2 + \frac{16\pi r^2}{11.5} \right) \end{aligned}$$

根据机舱的具体尺寸,假定接收点距声源的距离为1.5 m, $\Delta L_p = 10.7$ dB。假定接收点距声源的距离为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。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3~5 dB是切实可行的。

2 三聚氰胺泡沫塑料的吸声性能

三聚氰胺泡沫塑料是一种新型的以三聚氰胺/甲醛树脂液为原料经微波发泡方法得到的有机泡沫材料。三聚氰胺自身具有很好的阻燃性,因此在生产过程中无需添加阻燃剂^[3];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滴,符合健康环保的要求;其吸声性能优于常用的有机泡沫吸声材料。图3是厚度均为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的开孔聚氨酯泡沫塑料吸声系数对比曲线。

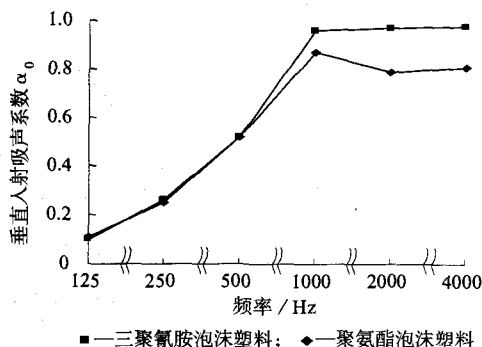


图3 三聚氰胺泡沫塑料与开孔聚氨酯泡沫塑料的吸声性能比较

由图3可知,三聚氰胺泡沫塑料与开孔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500~1250 Hz范围内吸声系数较高,其吸声特性符合船艇机舱噪声频谱特性。其主要原因在于三聚氰胺泡沫塑料具有高开孔率及均匀的孔隙结构(其显微结构如图4所示),使得其中高频吸声系数较高^[2]。此外,纤细而易成型的软“筋络”构成的三维网格结构的振动和变形产生了能量的附加损耗^[4],使其具有更好的吸声性能。

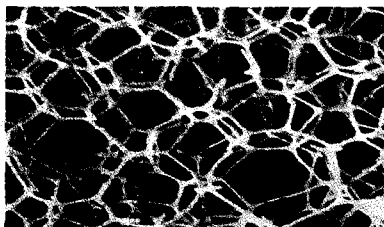


图4 三聚氰胺泡沫塑料的结构(×100)

2.1 实验材料与设备

三聚氰胺泡沫塑料试验材料由北京绿寰宇化工有限公司提供,孔隙率达到95%以上。采用丹麦B & K公司生产的4002型驻波管、2010型外差式声学分析仪进行吸声性能测试。

2.2 材料密度及厚度对吸声性能的影响

图5是厚度均为100 mm、密度分别为5 kg/m³和7.2 kg/m³的三聚氰胺泡沫塑料吸声系数的测试结果。由图5可以看出,在低频范围内,密度大的吸声系数要高些,频率高于500 Hz,密度对吸声系数的影响很小,两条曲线基本重合。这是因为对同一材料而言,增加材料的密度可使其流阻增大^[2],从而使其低频吸声系数升高,而中、高频吸声系数变化不大,甚至降低。

图6是密度同为7.2 kg/m³、不同厚度的三聚氰胺泡沫塑料吸声系数的测试结果。

由图6可见,厚度对吸声系数的影响较密度大。随试样厚度的增加,第一共振频率由高频向低频偏

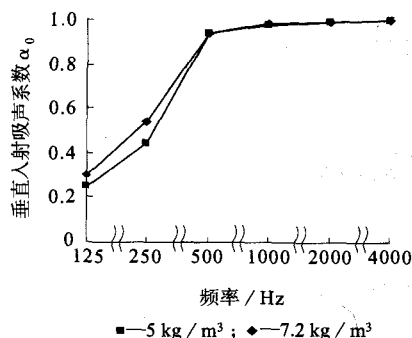


图5 不同密度三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数对比

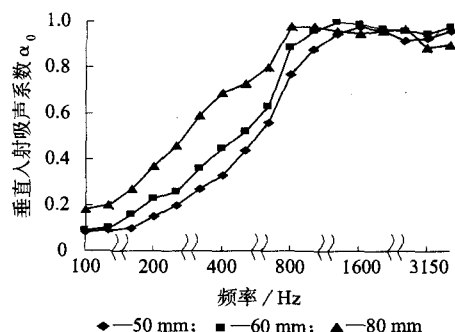


图6 不同厚度三聚氰胺泡沫塑料的吸声系数对比

移,低于第一共振频率时,其低频吸声系数提高,在对噪声贡献较大的500~1250 Hz时,其吸声系数较高,而高频吸声系数变化不大。随试样厚度的增加,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。

考虑到船艇机舱的结构特点及机舱噪声频谱特性和经济性,确定选用密度为7.2 kg/m³、厚度为60 mm的三聚氰胺泡沫塑料制作吸声饰面。

3 实船测试

3.1 吸声饰面安装

吸声降噪是降低直达声在机舱内壁表面间的多次反射形成的混响,通过在舱壁上安装吸声饰面层,可改变机舱内能量的分布和流动,从而改善舱内噪声的分布特性,降低机舱内的声功率,达到降噪的目的,吸声材料的用量与降噪量有直接关系。

机舱左右弦、顶板均为裸钢板,因此需在机舱内壁安装吸声饰面材料;另外,地板下是互相连通的,柴油机的下曲轴箱在地板以下,下部空间也会产生混响,因此在活动地板下也需要安装吸声饰面材料。由于机舱结构复杂,经计算,机舱内可安装53 m²左右,占整个机舱内壁面积的50%,体积共计3.9 m³。

3.2 噪声测试

为了减少测试设备、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,然后应用软件分析它们的1/3倍频特性,各测点在各频段上声压级的对比曲线如图7所示。

将各测点声压级进行平均,求得机舱安装吸声饰面前平均声压级为108.4 dB,安装吸声饰面后平均声压级为102.8 dB,声压级降低5.6 dB,达到设计要求。

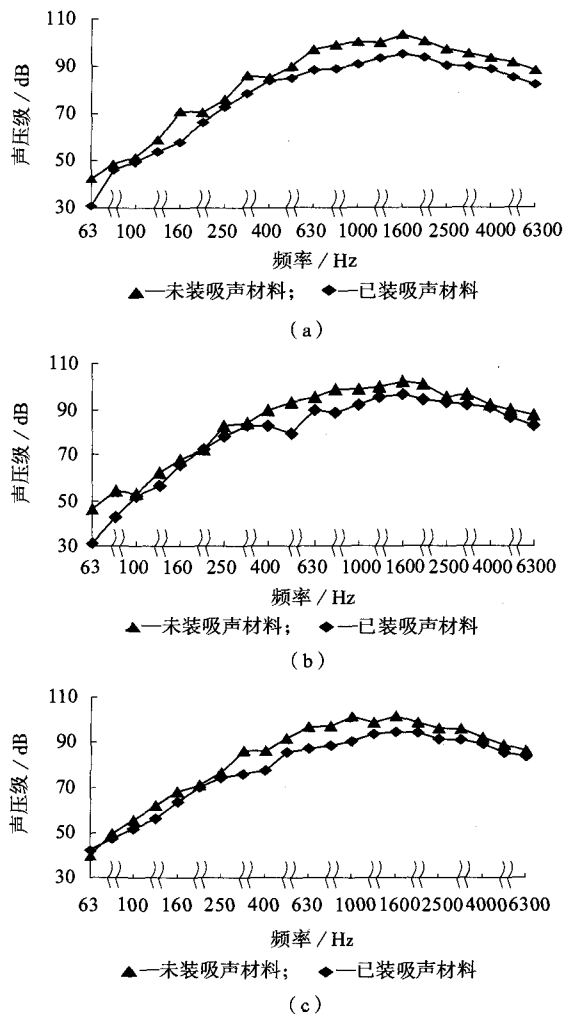
4 结论

(1) 安装吸声饰面后,中高频噪声得到有效控制,特别是在500~1250 Hz,其降噪量普遍在6 dB以上,在某些频段甚至达到15 dB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。

(2) 平均噪声声压级降低5.6 dB,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] 徐廷贵.舰艇噪声及其对舰员听力损伤的调查[J].海军医高专学报,1997,19(4):213-215.
- [2] 马大猷.噪声与振动控制工程手册[M].北京:机械工业出版社,2002:9.
- [3] Chung P. Acoustic absorption polymer foam having improved thermal insulating performance; US;20040039072[P]. 2004-02-26.
- [4] 吴小清.利用吸声材料和阻尼材料降低拖拉机驾驶室内噪声的研究[D].长春:吉林工业大学,1997.



a—舱内点; b—舱外点; c—人员所在点
图7 安装吸声饰面前后机舱1/3倍频噪声特性对比

APPLICATION OF MELAMINE FOAM IN ACOUSTIC ABSORPTION OF MILITARY SHIP ENGINE ROOM

Yuan Gaihong, Hou Peizhong

(Academy of Equipment Command & Technology, Beijing 102249, China)

ABSTRACT The noise of the military ship had a very tremendous influence on the fight performance. And the engine room noise was the main noise radiant resource. The noise signal of a military ship engine room had been analyzed. The main radiation frequency was found out. The influence of reverberation sound to engine room noise was studied too. The scheme was worked out about reverberation sound control, which carried on sound absorption facing. The effect of thickness and density of the melamine foam on the sound absorption coefficient was analyzed by impedance experiment. And then the parameters were made certain. Melamine-formaldehyde foam facing was equipped in the engine room and then tested. The noise of the engine room was reduced 5.6 dB, arriving at the design requirements.

KEYWORDS engine room noise, spectral analysis, sound absorption material, melamine foam, sound absorption, application

澳大利亚开发新材料环保塑料瓶

英国的《食品工程和配料》杂志报道,澳大利亚的种植工艺技术公司开发出一种用后可以舍弃的塑料包装新容器,其为生物分解性新包装材料,可以进行彩色印刷。该包装材料以玉米、淀粉为原料加工制成,可以进行裁切和成形加工

处理。该材料不仅可以加工成对环境保护有利的塑料制品,而且其相对价格也比较低廉,有利于推广使用。应用试验说明,这种新材料作为巧克力和饼干等干燥食品的包装材料是稳定而又稳妥的。新包装材料一旦投放在水中,就可以立即开始分解,直到最终完全分解而消失。(中华包装瓶网)