

# 船舶球鼻艏导流罩声障板参数 对艏部声场的影响<sup>\*</sup>

方开翔<sup>1†</sup> 唐春丽<sup>1</sup> 江国和<sup>1</sup> 顾振福<sup>2</sup>

(1 江苏科技大学机械与动力工程学院 镇江 212003)

(2 杭州应用声学研究所 杭州 311400)

**摘要** 本文研究了声障板相关参数对球鼻艏导流罩内声纳艏部声场的影响。对某舰缩比模型罩建立了有限元模型,然后运用有限元法声学分析软件,计算了某些频率下声源定向发射的声衰减特性和声场特性。计算结果与已进行的模型罩消声水池的试验结果吻合良好。

**关键词** 声纳,导流罩,声障板,声场特性

## Influence of acoustical baffle parameters of spheroidal sonar dome on bow on afterbody sound field

FANG Kai-Xiang<sup>1</sup> TANG Chun-Li<sup>1</sup> JIANG Guo-He<sup>1</sup> GU Zhen-Fu<sup>2</sup>

(1 School of Mechanical & Power Eng., Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang 212003)

(2 Hangzhou Applied Acoustics Research Institute, Hangzhou 311400)

**Abstract** The paper investigates the influence of acoustical baffle parameters of spheroidal sonar dome on bow on the afterbody sound field by building a reduced scaled FEM model of the sonar and the fairing. Then, it calculates acoustical performance and acoustical reducing features of different acoustical baffles when acoustics source launches directly. The results of calculation simulation has good consistency with the experiment ones and some useful conclusions are obtained.

**Key words** Sonar, Fairing, Acoustical baffle, Sound field performance

### 1 引言

随着对舰船、鱼雷、潜艇安静性和隐蔽性

要求的提高,对舰船振动与噪声的研究也越来越引起人们的重视<sup>[1]</sup>,水声技术的研究在努力加强<sup>[2]</sup>。船舶球鼻艏导流罩内声纳是现代大型

2004-04-30 收稿; 2005-03-28 定稿

<sup>\*</sup> 江苏省船舶先进设计制造技术重点实验室开发基金资助

作者简介:方开翔(1946-),男,江苏扬州人,教授,从事振动噪声控制方面的研究工作。

唐春丽(1977-),女,硕士,江国和(1963-),男,副教授,博士。顾振福(1936-),男,研究员。

<sup>†</sup> 通讯联系人 Email: kxfang123@163.com

水面舰艇及潜艇上不可缺少的电子设备之一, 其最前端是由一组换能器基元组成。它们的主要功能是: 搜索和跟踪水下目标, 测定水下目标的运动要素, 对目标进行识别和定位。

船舶球鼻艏导流罩内声障板最初的功能是用来减小尾部螺旋桨噪声对罩内换能器的干扰, 使罩内自噪声较小。一般认为, 即使声障板对于换能器扫描图形有影响, 但对发射和接收波束图和对尾部声场的影响均是很小的, 因为换能器有效的扫描图形并不是  $360^\circ$ <sup>[3]</sup>。但对这一传统的观念人们并未作深入详细的研究, 也未见有文献报道。本论文用有限元 - 边界元相结合的方法研究了声障板各参数对舰船尾部  $\pm 20^\circ$  范围内的罩后声场分布及声障板声衰减规律, 在此基础上, 分析计算障板高度、障板曲率、基阵与障板间距对障板隔声性能的影响, 这对舰船艏部其它水声设备 (如拖曳线列阵声纳) 的使用、导流罩的结构设计、为这些水声设备同时工作的声兼容均有着实际的参考意义。

## 2 数学仿真方法与建模

本文的研究对象可以看成是声波与充流弹性壳体振动的动力学耦合问题。数学物理问题的求解一般有两种方法: 解析法和数值解法。解析法一般易于物体几何规则、物性均匀、边界条件和初始条件简单的问题。对于实际工程中遇到的大量几何不规则、物性不均匀、边界条件和初始条件复杂的问题, 就需要运用数值解法。

对形状复杂的结构进行建模和受力分析时, 有限元方法 (FEM) 已经成为非常成功的数值模拟工具。其优点是建模方便, 可计算任意复杂结构的水下振动与声学问题, 包括流固耦合面上的振动问题, 缺点是利用有限区域截断来模拟声场的无限边界, 计算的节点多, 计算量大, 并且其声场的后置处理功能较弱; 而边界元法 (BEM) 对计算无限域中的声学问题非常有效。本文首先利用 ANSYS 软件建立较

为准确的导流罩壳体及其他结构模型, 然后, 将模型导入 SYSNOISE, 利用后者的有限元 + 边界元技术来计算声场衰减特性、远场指向性以及声衰减特性等声学问题, 具体详见 [4]。

在仿真计算时, 首先建立较为准确缩比的导流罩壳体、声障板及其它结构模型, 尽可能使导流罩计算模型与试验模型在结构上相一致, 但也作了一些简化, 比如省略了肋板上的透声孔以及一些非主要计算区域内的很窄的肋板。因为这些因素的存在一方面会使得有限元网络难以划分, 甚至会产生畸形网格使计算结果产生较大误差, 另一方面使单元尺寸差别过大导致计算所采用的时间步长太小而降低计算效率。根据水声学计算频率下波长和有限元网格尺度关系的基本要求, 即模型单元长度不应大于 6 倍波长, 计算频率又较高, 所以单元划分得很细, 全部采用 Shell63 薄壳单元, 然后在计算时根据模型的不同结构部位设定单元实常数来代表结构体的不同厚度。缩比模型罩外形图和罩内障板位置示意图分别见图 1 和图 2 (船艏方向为  $0^\circ$ , 船尾方向为  $180^\circ$ )。坐标原点处表示导流罩内活塞声源中心, 相关尺寸即为不同声障板距声源的距离。1、2、4 号是平板, 3、5 是曲障板, 不同障板结构形状和位置如表 1 所示。

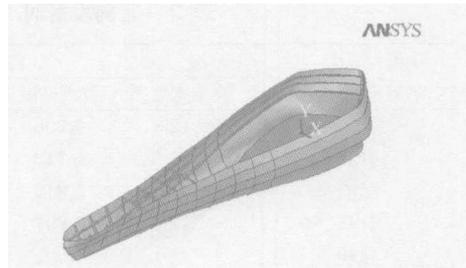


图 1 缩比模型罩示意图

表 1 障板结构形状和位置

形 状	距声源中心距离 (m)
1: 平 2: 平 3: 曲	2.25, 1.105, 1.06,
4: 平 5: 曲	0.925, 0.88

### 3 试验简介

缩比模型的水池试验工作是由杭州应用声学研究所研究人员在大型消声水池中进行的。测量声源定向发射时分别安装不同位置的障板各相对角导流罩插入损失,在  $-180^\circ \sim +180^\circ$  范围内波束宽度变化率、旁瓣级变化量和指向性不均匀性变化量,声障板的插入损失,以及不同相对角声压衰减规律。具体为:

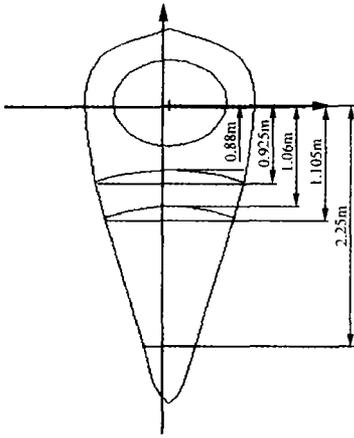


图2 缩比模型罩罩内障板位置图

(1) 安装导流罩后,及在罩内分别安装不同声障板情况下,在指定频率和各指定相对角

下,分别测量声压随声传播距离的变化;

(2) 求出有罩与无罩时偏差的绝对量,这个值就是该相对角上的插入损失。

(3) 测量定向换能器在无罩情况下指定频率的水平指向性图,计算主瓣宽度和最大旁瓣高度,主瓣高度为相对值,在无罩无障板时主瓣高度归一化为1。

(4) 测量定向换能器在有罩情况下,及安装有不同声障板情况下,指定频率和各指定相对角上的指向性图,计算对应于  $-3\text{dB}$  的主瓣宽度和最大旁瓣高度。计算出各指定频率和指定相对角上的波束宽度变化率和旁瓣级变化量。

### 4 计算与试验结果比较

由于模型罩的计算工况和试验工况较多,这里只取几个典型工况进行对比。无障板指只有导流罩,罩内没有声障板,(注:  $0\text{dB}=1\mu\text{Pa}$ ,下同)。

#### (1) 声压衰减规律

声源分别以  $0^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $160^\circ$  和  $180^\circ$  定向发射时,声衰减规律的计算对比结果见图3~图6。

#### (2) 声场特性影响的结果比较

表2 定向发射时,不同障板对声纳声场特性的影响

声源发射方向		无障板		障板1		障板3		障板5	
		波束高度	波束宽度 ( $^\circ$ )						
$0^\circ$	试验	0.733	12.8	0.706	11.6	0.786	12.2	0.738	11.9
	计算	0.771	12.5	0.713	11.8	0.678	13.2	0.748	12.8
$90^\circ$	试验	0.783	13.5	0.812	13.5	0.851	13.5	0.813	13.9
	计算	0.714	12.1	0.697	12.5	0.689	15.8	0.677	13.6
$135^\circ$	试验	/	/	/	/	0.778	14	/	/
	计算	0.718	13.1	0.718	13.7	0.777	13.4	0.774	12.3
$160^\circ$	试验	0.663	11.2	0.704	11.5	0.679	10.2	0.594	10.9
	计算	0.704	13.4	0.701	12.3	0.727	13.3	0.708	11.9
$167.5^\circ$	试验	0.677	14.3	0.668	13.3	0.431	16.6	0.35	15.8
	计算	0.639	13.2	0.656	12	0.578	10.5	0.373	9.5
$172.5^\circ$	试验	0.648	10.6	0.746	7.9	0.325	17.5	0.248	20
	计算	0.602	11.7	0.685	9.6	0.48	9.9	0.369	14.7
$180^\circ$	试验	0.64	5.5	0.44	5.6	0.271	4.9	0.148	5.7
	计算	0.743	8.5	0.481	16.4	0.314	5.7	0.202	6.2

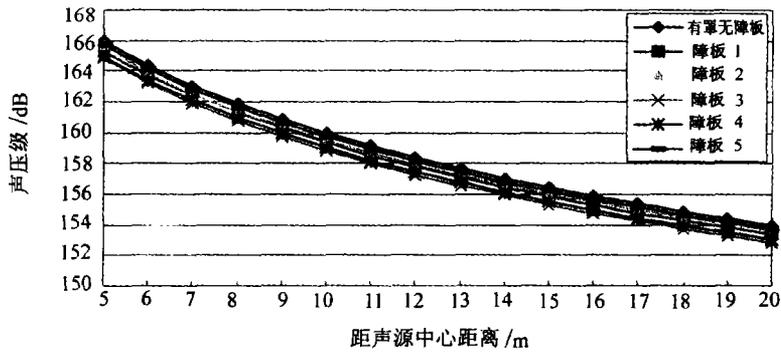


图 3 频率 18kHz, 声源方向 0°, 衰减曲线比较

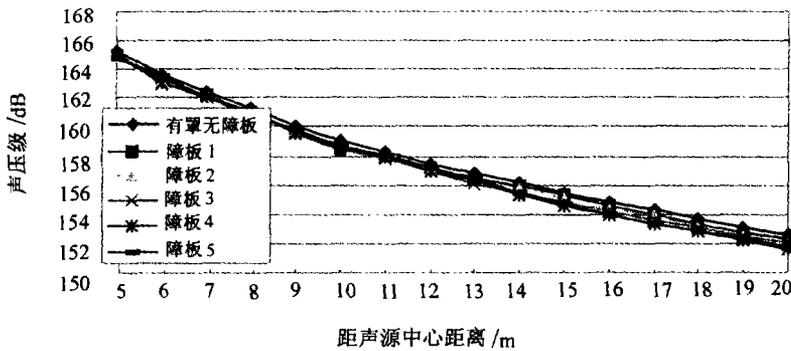


图 4 频率 18kHz, 声源方向 90°, 衰减曲线比较

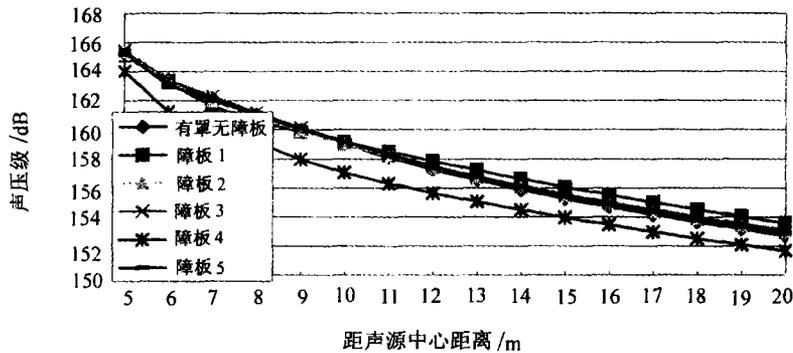


图 5 频率 18kHz, 声源方向 160°, 衰减曲线比较

(3) 计算和试验结果对比分析

理论计算与试验结果在大部分工况均吻合良好, 这说明建模基本正确, 论文所用的 FEM/BEM 计算方法可行。据此, 我们可以预报实际声障板对声纳声学特性的影响。少数工况有些差别, 这主要有两个方面的原因: 一是

理论模型作了某些简化; 二是由于条件所限, 模型试验所用换能器和理论计算的声源有一些差异。

5 结论

从以上数据可以得到以下几点结论:

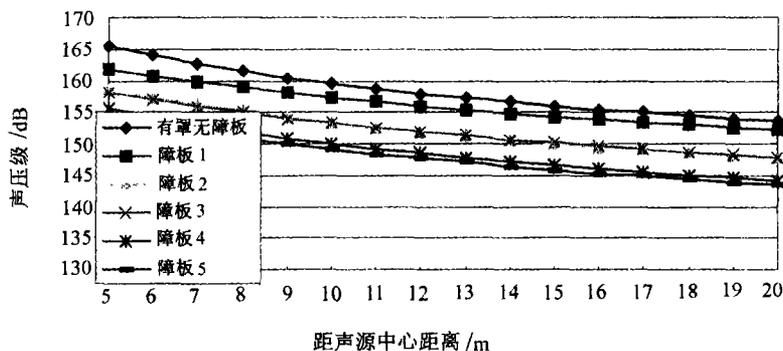


图6 频率 18kHz, 声源方向 180°, 衰减曲线比较

(1) 发射方向越靠近尾部 (从 0° 到 180°), 障板的声衰减作用越强; 但不论有无障板, 远场声压衰减随距离增加而增加, 距离增加 1 倍, 声压衰减均约为 6dB, 符合水下噪声的规律;

(2) 从表 2 的数值可以看出, 对于无障板的情况, 不论是计算还是试验, 定向发射角度不同, 声场特性 (波束宽度、波束高度) 有明显的差别, 越靠近尾部 (180°), 同一距离上, 声压值越小, 波束图也越不规则。这表明导流罩尾部肋板加强结构对声纳远场声特性有较大影响, 它使得声纳在尾部一定扇面内不能正常工作, 对此以往未从声学设计上加以重视, 今后在导流罩设计时更应加以注意;

(3) 加距声源不同距离的平障板 1、3、5 的结果与无障板的结果比较, 在 0° ~ 160° 前的发射范围内, 远场声特性没有明显的规律, 在 160° 以后的发射范围内, 同一距离上, 分别加障板 1、3、5 的声压值呈递减形式, 这说明形状相同的障板, 随着距声源距离的减小 (障板 1 距离最远、3 次之、5 最近), 其声衰减效果递增, 但是远场声指向特性越来越差。也就是说导流罩内设置合适的障板, 可明显提高

声衰减效果, 但在提高声衰减效果的同时, 是以牺牲声纳的有效工作扇面为代价的。距离不同的曲障板 2 和 4 比较, 也有类似的结论;

(4) 距离相近的曲障板与平障板 (障板 2 和 3、障板 4 和 5) 比较, 曲障板有稍好的声衰减性能;

(5) 障板表面的吸声材料、障板尺寸、曲率和障板距声基阵中心的距离等是影响声衰减效果和声场特性的主要因素, 本文对后三者因素的影响进行了研究, 材料参数 (本文所用声障板由 6mm 钢板和吸声材料两层组成, 吸声材料的吸声系数为 0.85) 的影响则涉及更广的技术领域。

## 参 考 文 献

- [美]D. 罗斯著. 水下噪声原理. 《水下噪声原理》翻译组译. 北京: 海洋出版社, 1983. 10~15.
- 周福洪. 水声换能器及基阵. 北京: 国防工业出版社. 1984. 28~30.
- 何祚镛. 应用声学, 2002, 21(1):26~34.
- 江国和, 唐春丽, 方开翔等. 华东船舶工业学院学报 (自然科学版), 2003, 17(5):6~10.