

Influence of Structural Design of Anechoic Tank on Sound Absorption Performance

Zhizu Wang, Weimin Tian, Yan Peng

East China Sea Center of Standard & Metrology, Shanghai
Email: wzz1104@163.com

Received: Feb. 29th, 2020; accepted: Mar. 13th, 2020; published: Mar. 20th, 2020

Abstract

The main factors affecting the sound absorption performance of the anechoic tank are the properties and structure of the sound absorbing materials. Through experimental comparison, this paper finds that the optimized design of the geometric structure of the anechoic tank can also improve the sound absorption performance. The incident angle of sound waves is changed, which adjusts the waveform conversion, scattering and reflection of sound waves in the sound absorption structure, and the noise reverberation is absorbed and consumed in the tank. Under the same sound absorbing material and measurement distance, the sound absorption coefficient of the quadrangular prism has a significant increase compared to the planar structure, and the increase is about 10%. At the same time, it is successfully applied in the construction of the anechoic tank of the East China Sea Standard Metrology Center, which improved the sound absorption effect, and reduced the construction cost. It provides a new idea for the design of the anechoic tank in the future.

Keywords

Anechoic Tank, Sound Absorption Coefficient, Structural Design, Oblique Incidence

消声水池结构优化设计对吸声性能的影响

王智祖, 田为民, 彭 燕

东海标准计量中心, 上海
Email: wzz1104@163.com

收稿日期: 2020年2月29日; 录用日期: 2020年3月13日; 发布日期: 2020年3月20日

摘 要

影响消声水池的吸声性能的主要因素是吸声材料的性能和结构, 本文通过实验对比, 发现消声水池的几何结构优化设计同样可以提升吸声性能, 延长声波传播距离, 改变声波入射角度增强吸声结构中的波形

转换、散射和反射, 加大吸收或者消耗水池内的噪声混响。实验发现, 同样的吸声材料下, 四棱柱吸声结构比平面结构的吸声系数有显著增加, 提升幅度在10%左右。同时, 在东海标准计量中心消声水池的建设中取得成功应用, 提升吸声效果, 降低了建设成本, 为以后的消声水池设计提供了一种新思路。

关键词

消声水池, 吸声系数, 结构设计, 斜入射

Copyright © 2020 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

消声水池是水声工程和水声计量等领域内一种常用的实验场地, 为水声测量提供接近自由声场的水声环境[1], 是水声设备进行声学性能测量、水中声学模拟等不可或缺的重要环境。水声吸声材料用于对消声水池进行有效的消声处理, 使声波在水池内部传播时尽可能多的被消耗, 有效降低水池内声反射的强度。因此, 消声水池表面所敷设的吸声材料对声能量的吸收效果, 声波反射对消声水池中的自由声场的影响程度, 都将影响水声设备声学性能的测量精度。

消声水池吸声性能的主要影响因素包括吸声材料自身的性质和结构以及材料间组合方式等。而现有吸声材料主要是橡胶和聚氨酯材料[2] [3], 吸声结构为水声谐振式吸声结构和阻抗渐变型吸声结构[4], 吸声材料的性质和结构比较成熟稳定, 难以大幅提升。目前消声水池主要是平面组合结构, 吸声材料粘贴在平板上[5] [6], 搭建成六面吸声水池。罗马奇等研究发现使用 50~80 mm 厚的双层板结构可提升消声水池的吸声效果[7], 但施工工艺难度和经济成本则会增大很多。

因此, 在现有材料和施工工艺的基础上, 为提升消声水池降噪效果, 并且保证其经济合理性, 本文采用对消声水池的结构进行改进, 通过合理的几何结构优化设计, 利用改变声波入射角度调节声波在吸声结构中的波形转换、散射和反射, 吸收或者消耗水池内的噪声混响[8] [9], 从而达到衰减声波的目的, 改善消声水池内工作环境。

2. 消声水池吸声性能的影响因素分析

消声水池吸声性能主要表现声波反射对自由声场的影响程度, 声能量的吸收效果越好, 反射到水池中的声波越少, 吸声效果则越好。特定的吸声材料下, 消声水池内声波的传输距离和入射角度都是影响吸声效果的关键因素。

2.1. 声波传输距离

声压反射因数是消声水池吸声性能的重要参数, 通过在消声水池界面前布置声波发射器和水听器来测量。声压发射因数 R 的计算公式为:

$$R = \frac{p_2}{p_1} \left(1 + \frac{2d_2}{d_1} \right) \quad (1)$$

式中: p_1 为水听器收到的直达脉冲, 单位 V;

p_2 为水听器收到的反射脉冲, 单位 V;

d_1 为发射器和水听器之间的距离, 单位 m;

d_2 为水听器和水池界面间的距离, 单位 m。

在消声水池内测量声压反射因数时, 发射器和水听器沿水池几何中心轴布置, 水听器和界面的距离要尽量小, 使反射脉冲声和直达脉冲声波能区分开, 而直达声压与消声材料的性能无关。因此从式(1)可以看出, 声压反射因数和反射脉冲强度 p_2 成正比, 和发射器和水听器之间的距离成反比 d_1 , 即水池几何尺寸成反比。消声水池的长度、宽度和深度越大, 声波在水池中传播距离越长, 对应方向的声压反射因数越小, 吸声性能越好。

2.2. 声波入射角度影响

同时, 为进一步研究斜入射对消声水池内衰减声波的增强, 刻画入射角度对吸声性能的影响, 本文在杭州应用声学研究所消声水池内利用测深仪开展入射角度响应实验。测深仪工作频率为 200 kHz, 波束宽度为 6° , 最大声强为 210 dB, 最大测深为 200 m。

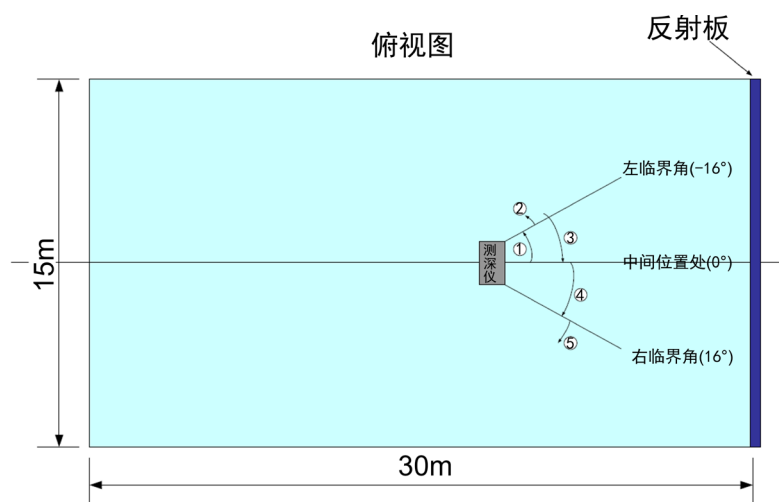


Figure 1. Incident angle response analysis experiment

图 1. 入射角度响应分析实验布置

消声水池内, 测深仪安装在旋转杆平台上。测深仪的波束主方向指向反射端面, 反射端面铺有吸声材料。转动平台按图中标识的序号依次用测深仪横向测距(图 1), 并记录测深仪显示的距离(表 1)。

Table 1. Response results of the different incident angles

表 1. 不同入射角度响应结果

旋转过程	旋转角度($^\circ$)	显示距离(m)
中间位置	0	12.56
①	-8	12.79
②	-16	0
③	-14	12.84
④	14	12.99
⑤	16	0

可见当入射角度大于临界角时，回波不足以触发单波束测深仪，使其无测深输出，即没有足够的反射能量触发测深，认为该入射角度下经消声材料吸收效果较好，声波反射较弱。而在实际应用中，声波发射一般垂直发射，因此，将反射板进行倾斜化处理，保证入射角度大于 16° ，形成四棱锥式结构设计方案。

3. 消声水池结构优化设计

东海标准计量中心所建消声水池主要用于海洋高频单波束测深仪的计量检测，消声水池位于海流计检定水槽内，受限于水槽固有尺寸和经费限制，消声水池尺寸为 $6.5\text{ m} \times 5\text{ m} \times 5\text{ m}$ ，五面覆盖频率 20 kHz 的吸声尖辟。消声水池内单波束测深仪发射声波信号，要求水池的池壁、底面和水面对入射声没有反射，传统的消声水池是平面的结构设计，有限空间范围内很难获得理想的自由声场。

因此，基于入射角度对吸声性能的影响，本文在声波波束主方向指向的反射端面设计成四棱锥体，增大声波入射角度，延伸声波传播距离，加剧衰减和消耗，从而模拟一个没有反射的开阔水域声场条件。长方形四棱柱吸声结构底面尺寸为 $6000\text{ mm} \times 5000\text{ mm}$ ，顶端尺寸为 $480\text{ mm} \times 400\text{ mm}$ ，框架高度 1600 mm ，倾斜角度为 $30^\circ \sim 35^\circ$ 。设计图和实际效果图见图 2。

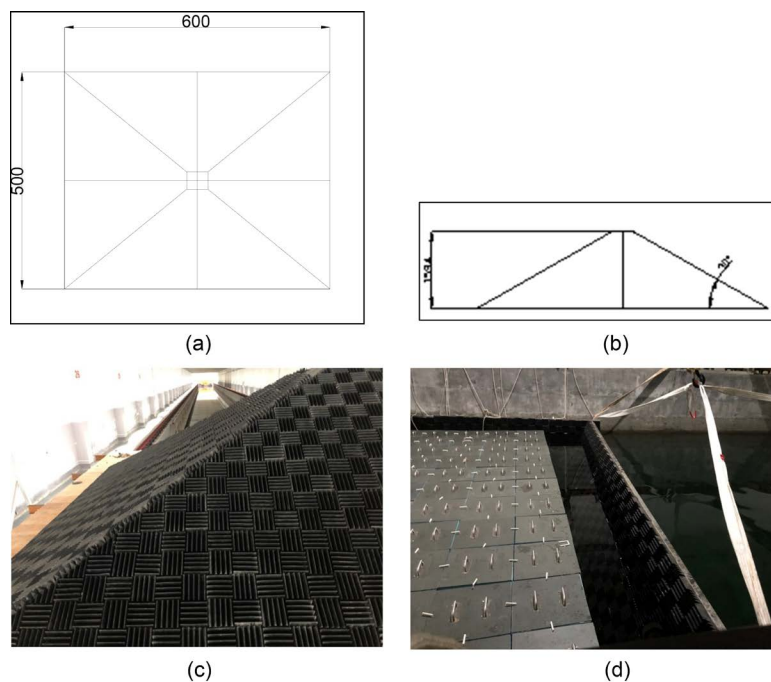


Figure 2. Design drawing and actual drawing of quadrangular pyramid structure. (a) Top view; (b) Main view; (c) Before entering the water; (d) Entering the water

图 2. 四棱柱结构设计图和实际效果图。(a) 俯视图；(b) 主视图；(c) 入水前实际效果图；(d) 入水后消声水池整体效果图

4. 结构优化效果验证

为验证本文设计消声水池的吸声效果，分析四棱柱吸声结构相较于平面吸声结构在吸声性能上的提升，特邀中国测试计量研究院进行消声水池的吸声性能检校。依据《JJF 1146-2006 消声水池声学特性校准规范》，采用脉冲回波法测量水池的吸声系数。脉冲回波法利用脉冲的短时特性将直达声与反射声在时域上分离，将反射声波除以直达声波即可得到反射系数，进而得到表面法向声阻抗率或吸声系数。水听器频率为 $2 \sim 200\text{ kHz}$ ，发射换能器和接收水听器布置于水下 2 m 处，并保持处于同一平面。声波垂直入射待测平面，分别对左侧、右侧和前侧进行吸声系数测量(图 3)，测量结果见表 2。

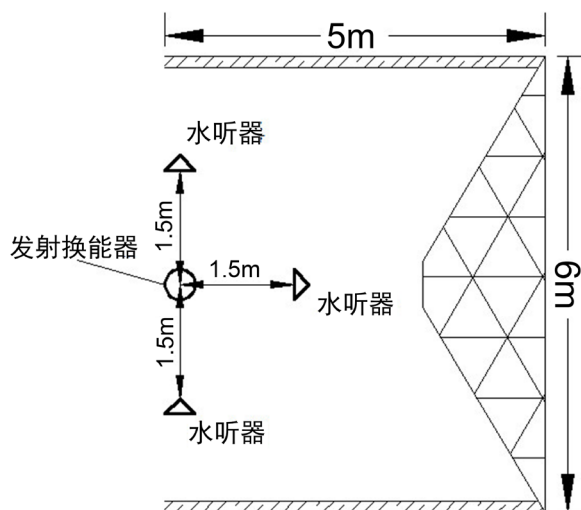


Figure 3. Site layout of sound absorption performance verification
图 3. 吸声性能验证现场布置图

Table 2. Measurement results of the sound absorption coefficient
表 2. 吸声系数测量结果

频率/kHz	水池右侧(平面)	水池左侧(平面)	前侧(四棱柱体结构)
20	0.65	0.71	0.75
25	0.64	0.62	0.70
50	0.88	0.85	0.95
80	0.99	0.99	0.99
100	>0.99	>0.99	>0.99
200	>0.99	>0.99	>0.99

通过实验对比,同样的吸声材料和测量距离下,四棱柱吸声结构比平面结构的吸声系数有显著增加,提升幅度在 10% 左右。由此可见,在狭小空间内,通过消声水池结构的优化设计,改变声波的入射角度,调节声波在消声水池中的波形转换、散射和反射,可显著提升消声性能,加大声波的衰减,改善水池内的自由声场。

5. 结论

相对于传统的平面结构的消声水池,四棱柱结构的设计可显著提升吸声性能,底面倾斜角度为 30° 时,吸声系数可提升 10% 左右。因此,通过消声水池结构的优化设计,可以提升消声水池降噪效果,并且可以降低搭建消声水池的经济成本,在东海标准计量中心消声水池建设中已经取得验证和应用,为以后的消声水池结构设计提供了一定的思路和参考。

参考文献

- [1] 朱金华, 王源升, 等. 水声吸声高分子材料的发展及应用[J]. 高分子材料科学与工程, 2005, 21(4): 46-50.
- [2] 蔡贝克. 聚氨酯发泡材料的制备及吸声结构优化[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2016.
- [3] 冯彩梅, 郭伟, 许伟. 水声吸声材料研究进展[J]. 玻璃钢/复合材料, 2007(6): 53-56.
- [4] 何祚铺. 声学理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981.
- [5] 余鑫, 彭影星, 郁嘉诚. 消声水池侧壁模板的设计与施工[J]. 工程技术, 2017, 44(20): 80-81.

- [6] 陈灵鸽, 尹绪超, 黄圣. 消声水池用吸声隔墙声学结构设计[C]//第十五届船舶水下噪声学术讨论会暨船舶力学学术委员会水下噪声学组成立三十周年纪念学术会议, 2015: 522-527.
- [7] 罗马奇, 汲长远, 吴友亮, 陈瑶, 张权. 消声水池双层板结构隔墙的隔声性能研究[J]. 声学与电子工程, 2017(3): 12-14.
- [8] 石云霞, 奚正平, 等. 水下吸声材料的研究进展[J]. 材料导报, 2010, 24(1): 49-52.
- [9] 张天航. 基于反射声的材料参数反演研究[D]: [硕士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.