

一种新型声隔离系统

周益明, 王建中, 张 涛, 翁国忠, 翁汝莲, 王佳麟

(中国科学院声学研究所东海研究站, 上海 200032)

摘要: 水声换能器的收/发声隔离度决定了很多水声设备的性能优劣。介绍了一种新型声学隔离系统, 该系统改变了声障板的设计思路, 使换能器的收/发声串漏得到明显降低。通过偶极子原理, 提出了一种提高收/发声学隔离度的方案。利用有限元仿真手段, 计算并验证了该种方案的有效性。参照仿真模型, 制作了一套声隔离系统样机, 在 1 个倍频程的频带内, 该系统的收/发声隔离度大于 40dB。该声隔离系统提高了现有水下声目标模拟设备的性能。

关键词: 偶极子; 换能器; 声隔离; 声障板; 声串漏

中图分类号: TB552

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2013)-06-0519-05

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2013.06.016

A new acoustic isolation system

ZHOU Yi-ming, WANG Jian-zhong, ZHANG Tao, WENG Guo-zhong,
WENG Ru-lian, WANG Jia-lin

(Shanghai Acoustic Laboratory, Institute of Acoustics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200032, China)

Abstract: It is known that the performance of an underwater acoustic equipment closely depends on the acoustic $R-T$ isolation of a transducer, *i.e.* the acoustic isolation between receiving and transmitting of the transducer. This paper introduced a new acoustic isolation system, in which the design of an acoustic baffle was changed so that the transducer's $R-T$ leakage decreased obviously. A method of advancing the acoustic $R-T$ isolation was presented according to the dipole theory. The effectiveness of this method was evaluated and verified by the finite element simulation. Based on the simulation model, an acoustic isolation prototype system with an acoustic $R-T$ isolation greater than 40dB in an octave was developed which significantly improved the performance of an existing underwater acoustic target simulator.

Key words: dipole; transducer; acoustic isolation; acoustic baffle; acoustic leakage

0 引言

水声换能器的收/发声学隔离是诸多水声设备在运用中经常遇到的技术难题。为了实现水声设备边收边发的功能^[1,2], 需要将发射换能器与接收换能器采用最有效的方法和措施隔离开来, 使接收换能器尽可能接收不到来自发射换能器发出的回发信号。图 1 为瑞典研究人员制作的声学隔离装置^[3], 为了实现边收边发功能, 在拉大收/发换能器间的距离的同时又在收/发换能器之间加了不小的障板。然而, 由于声系统中收/发换能器之间距离尺度与障板尺度的限制, 总会有部分回发信号被声系统中的接收换能器接收到, 这一部分信号是不希望在收/发换能器之间被传递的, 我们定义为收/发换能器之间的声串漏信号。因此, 需要解决的问题变为如何使串漏声信号尽量小。

在以往的使用经验中, 实现声系统收/发之间有效声隔离的手段主要有三种:

(1) 设计收/发换能器的指向性^[2], 减小垂直开角, 使收/发换能器本身就具有较高的指向性增益和相对较弱的端射灵敏度, 如图 2 所示, 垂直开角不到 10° , 端射强度比主波束低 20 dB 以上; 将收/发换能器同轴安装, 在一定间距下就能够满足使用要求。然而这种小开角弱端射灵敏度换能器在恶劣海况下很难满足实际使用要求, 并且无法保证在宽频带工作范围内足够的隔离度。

(2) 依据不同的工作频段, 在收/发换能器之间放置尺度不同的隔声障板, 主要有反声障板和吸声障板两种。由于这两种类型的声障板都具有隔声功能, 如果障板的形状、尺度相同, 则隔离度也相差无几。反声障板的优点在于重量一般比较轻, 便于工作时的布放和回收, 缺点是对换能器的指向性影响较大; 而吸声障板对换能器工作波束开角范围内的指向性影响甚微, 但障板自重较重, 对在高海况时的布放/回收带来不便。

(3) 利用自适应抵消技术也可以为设备带来一

收稿日期: 2013-07-30; 修回日期: 2013-10-28

作者简介: 周益明(1980—), 男, 江苏无锡人, 硕士研究生, 助理研究员, 研究方向为水声换能器。

通讯作者: 周益明, E-mail: ymzhoull@163.com

定的声隔离度^[2]。但是由此需要引入一套复杂的信号处理系统。

声隔离度的定义：参考图 1 中的声系统所示，假定接收换能器与发射换能器均处于水平工作模



图 1 瑞典研究人员制作的声学隔离系统

Fig.1 Acoustic isolation system developed by Swedish researchers

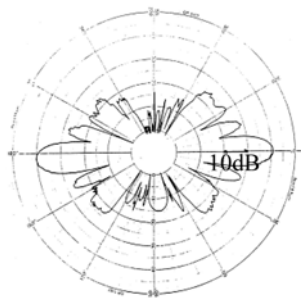


图 2 瑞典研究人员采用的换能器的指向性图

Fig.2 Transducer's directivity diagram adopted by Swedish researchers

式，即接收和回发的信号都在水平方向。接收换能器水平方向的接收灵敏度为 SRX ，接收换能器接收声信号时的输出电压级为 RXL ，发射换能器水平方向的回发声源级为 TXL ，串漏信号电压级为 CLL ，隔离度定义为：

$$AIL = TXL - (CLL - SRX) \quad (1)$$

由于收/发换能器竖直方向同轴安装，水平方向到远处目标距离相等，因此垂直间距在收发隔离度定义中不单独考虑，已经包含在 CLL 内。例如对于 $SRX = -180\text{dB}$ ， $TXL = 180\text{dB}$ 的一套收发声系统，若工作时由于声串漏产生的电压为 0.01V ，即 -40dB 的电压级，则收发隔离度 AIL 为 40dB 。

如果该声学系统在水下用于模拟目标强度为 TS 的目标，则根据声纳方程，回发声源级表达式如下：

$$TXL = RXL - SRX + TS \quad (2)$$

即当接收换能器收到第三方辐射出的声波时输出了 RXL 的接收电压级，对于目标强度为 TS 的水下目标，其反射声强应为 TXL 。

把串漏信号 CLL 看作噪声， RXL 看作信号，则

根据式(1)、(2)可得系统信噪比如式(3)所示：

$$SNL = RXL - CLL = AIL - TS \quad (3)$$

由式(3)可得，系统的信噪比的提高，尤其针对 TS 较大的要求时，提高收/发隔离度是最为有效的技术途径。

鉴于三种常规隔声手段的不足和隔离度指标的提，将研究一款既能满足大开角指向性要求，又具有较高隔离度、能够满足宽带运用的新型一体式的声隔离系统。

1 原理与方法

利用偶极子^[4]的零点，可以制造出极低端射灵敏度的指向性。最常见的偶极子可以通过两种途径实现：

声场中两个间距 d 远小于波长的脉动点声源分别辐射同幅反相声压，其远场指向性在两点声源连线的法向平面上为零，声源布局示意及指向性(图中虚线)如图 3 所示。

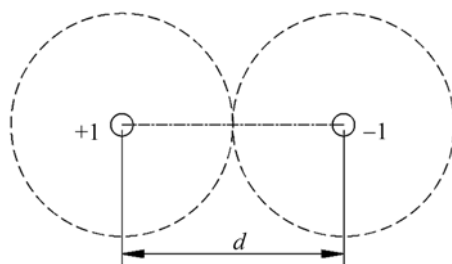


图 3 双点源偶极子指向性原理图

Fig.3 Directivity schematic diagram of the two-point source dipoles

声场中一个接近(d 远小于波长)无限大绝对软边界的脉动点声源，软边界类似于镜面，在以软边界为镜面的另一边，出现一个与实际脉动点声源振动幅度相等，相位相反^[5]的虚源，其形成的远场指向性与第一种情况的单边指向性相同，远场中软边界附近处的灵敏度为零，布局示意及指向性(图中虚线)如图 4 所示。

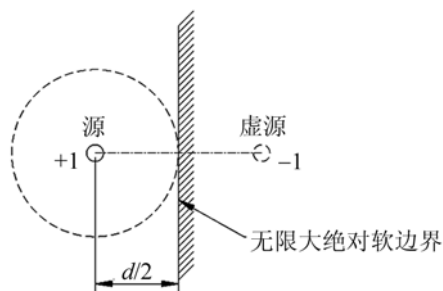


图 4 单点源在软障板附近形成单边偶极子指向性示意图

Fig.4 Directivity schematic diagram of the unidirectional dipole formed by a single-point source around the soft baffle

利用偶极子的基本原理,构建如图5所示结构的柱形反声软边界,圆柱直径 d 大于波长,在柱面上嵌套一个圆环型换能器。因此当换能器发射或者接收信号时,向轴向辐射或从轴向接收的声压,一定是存在直达信号和界面反射信号叠加的情况。对于绝对软边界,边界位置声压为“零”,即直达信号和反射信号在边界位置同幅反相抵消了。因此其指向性应如同图中虚线示意的形状,在圆柱轴向,该换能器灵敏度为零。

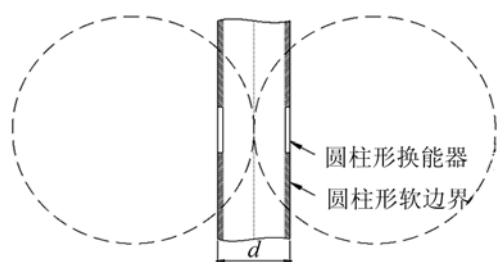


图5 圆柱形软边界形成偶极子指向性原理图
Fig.5 Directivity schematic diagram of the dipole formed by a cylindrical transducer around the cylindrical soft boundary

2 仿真计算

利用有限元计算软件,建立脉动柱形声源、软边界、流体单元以及吸收边界,计算直径为120mm,高度为400mm圆柱软边界,频率不超过50kHz时的辐射声场,典型声场分布图如图6所示,由此得到指向性图如图7所示。由图7可见,轴向端射灵敏度(0° 及 180° 位置)为零。

通过仿真计算,得到了在较宽频带内相对稳定的类似偶极子的指向性。因此,理论上仅需将发射换能器和接收换能器通过圆柱形软边界同轴固定,便能通过指向性零点将收发换能器之间的声串漏完全隔绝。同样可以说明,声压无法沿着软边界传播,而靠近软边界地方的声压也要小得多。

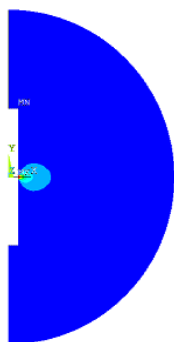


图6 声隔离系统仿真声场分布图
Fig.6 Sound field distribution diagram of the simulated acoustic isolation system

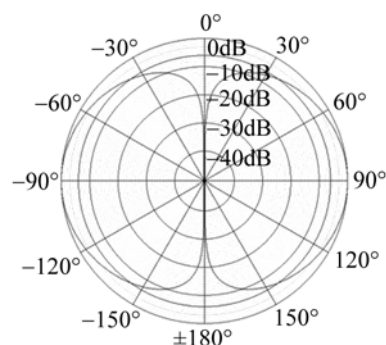


图7 声隔离系统辐射声场指向性(对数坐标)
Fig.7 Directivity diagram of radiated sound field of the acoustic isolation system(logarithmic coordinate)

3 样机研制

验证样机包含以下主要部件:发射换能器,隔振段,柱形软边界,电子罐,柱形软边界,隔振段,接收换能器。考虑到频段,换能器的直径要比软边界直径小,但尽量接近软边界,声压抵消效果明显。声隔离系统外形如图8所示。

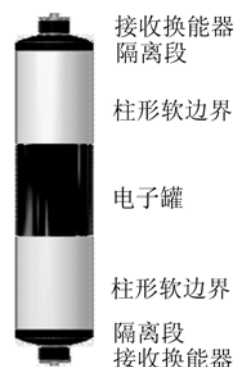


图8 声隔离系统样机示意图
Fig.8 Picture of the prototype acoustic isolation system

3.1 主要声学部件的功能

发射换能器: 回发信号,具有水平全向指向性,垂直开角较大。

隔振段: 消除结构件之间的声传导。隔振段由多级金属骨架和阻抗渐变型阻尼橡胶复合而成,可以有效降低刚性体之间的机械振动波的传导。

柱形软边界: 由低密度复合材料制成,具有较高的耐压性能和良好的水密性能,尤其是利用其反声特性可以使两端的换能器分别形成极小的端射灵敏度,有效阻隔收发换能器之间的声串漏。

接收换能器: 与发射换能器一样,具有全向水平指向性,垂直开角较大。

3.2 样机指向性测量结果

换能器在声隔离系统样机上测得的指向性图

如图 9~11 所示。根据声场互易原则,文中只给出了接收换能器在声隔离系统上的指向性图。

在 25kHz、30kHz、35kHz 频点上,由单个换能器指向性获得的隔离度分别达到了 21dB、26dB、30dB。从图上可以看到,有障板的一侧(指向性图 180°位置)声压比没有障板的一侧明显要小很多。

3.3 样机隔离度测量结果

隔离度测量系统框图如图 12 所示。本次测量共选用了 4 种不同类型的软性材料模拟圆柱软边界,通过消声水池测量,按照本文对收发隔离度的定义,测得隔声系统的收/发隔离度在 1 个倍频程内均达到了 40dB 以上,随着频率的升高,隔离度甚

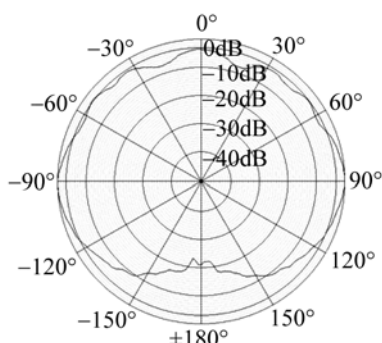


图 9 声隔离系统换能器 25kHz 指向性图(对数坐标)

Fig.9 Directivity diagram of the prototype acoustic isolation system at 25 kHz (logarithmic coordinate)

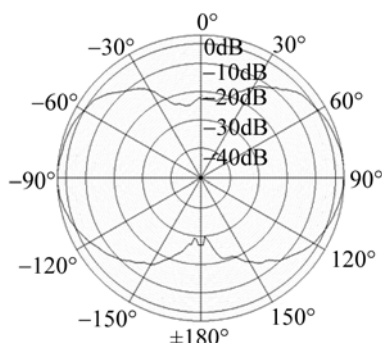


图 10 声隔离系统换能器 30kHz 指向性图(对数坐标)

Fig.10 Directivity diagram of the prototype acoustic isolation system at 30 kHz (logarithmic coordinate)

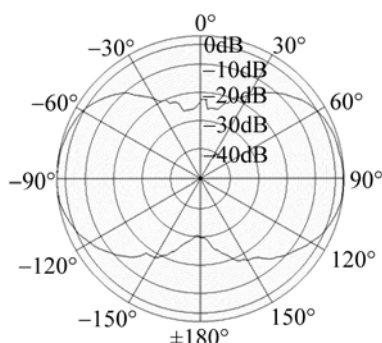


图 11 声隔离系统换能器 35kHz 指向性图(对数坐标)

Fig.11 Directivity diagram of the prototype acoustic isolation system at 35 kHz (logarithmic coordinate)

至达到了 50dB 以上,结果如图 13 所示。以上隔离度结果为收/发换能器在软障板作用下的总的收发隔离度。

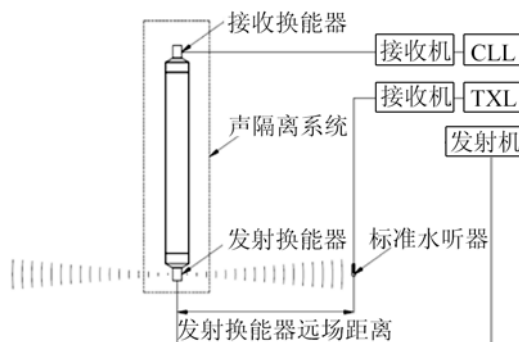


图 12 声隔离系统收发隔离度测量框图

Fig.12 Acoustic isolation system transceiver isolation measurement diagram

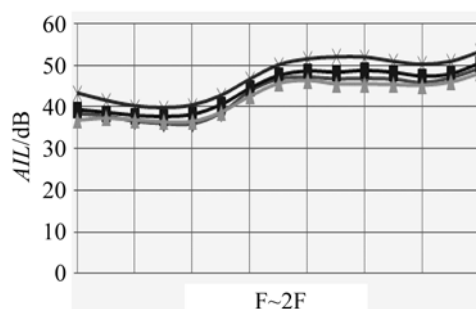


图 13 声隔离度测试结果

Fig.13 Test results of acoustic isolation

4 结 论

与以往的声学隔离系统相比,此次设计的声隔离系统有以下方面的改进:

- (1) 结构方面,重量轻,体积小,减少了结构组件,整体性好,工作时的布放/回收便捷;
- (2) 声隔离度高,并且可以在较宽带宽内实现较好的声隔离。由于采用宽带接收换能器和新型隔声段,在保证声隔离度的前提下只要更换相适应的发射换能器就能满足不同频段的工作需求;
- (3) 由于采用了一体化刚性结构,因此收/发换能器之间的声隔离度稳定,性能可以得到保证。解决了以往收/发隔离度受布放/回收及海况条件影响大的难题;

- (4) 采用新型声隔离系统后,收/发换能器之间的声隔离度达到了 40 分贝以上。

由于采用的软边界材料与理想的软边界具有一定差异,导致声隔离度并没有达到理论仿真的程度。在下一步工作中,将着重解决软边界选材与制作的问题。

参 考 文 献

- [1] 王守义. 智能声诱饵第一类边发边收方案及信号处理技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2009: 14-19.
WANG Shouyi. Intelligentized acoustic decoy' first Receiving and sending project and processing signal technique[D]. Harbin: Harbin Engineering University Press, 2009: 14-19.
- [2] 吴培荣. 基于边收边发技术的声隔离度研究[J]. 声学技术, 2013, 32(4): 281-285.
WU Peirong. Research on isolation degree of 'receiving and sending' technique[J]. Technical Acoustics, 2013, 32(4): 281-285.
- [3] Lars Gustavsson. Equipment for torpedo tests[Z]. FOI, SE-172 90 Stockholm, Sweden.
- [4] 何祚镛, 赵玉芳. 声学理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981: 202.
HE Zuoyong, ZHAO Yufang. Acoustic theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1981: 202.
- [5] 何祚镛, 赵玉芳. 声学理论基础[M]. 北京: 国防工业出版社, 1981: 68.
HE Zuoyong, ZHAO Yufang. Acoustic theory[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1981: 68.

第十三届全国噪声与振动控制工程学术会议在福州市成功召开

第十三届全国噪声与振动控制工程学术会议在福州市成功召开。此次会议由中国环保产业协会噪声与振动控制专业委员会牵头组织, 联合中国声学学会环境声学分会、中国环境科学学会环境工程分会及环境物理专业委员会、中国建筑学会建筑物理分会建声专业委员会、中国机械工程学会环境保护分会、中国职业安全健康协会噪声与振动控制专业委员会、中国振动工程协会振动与噪声控制专业委员会等国内八大与建声、噪声、振动、建筑、环境及机械相关的学会(协会)以及港、台地区的香港声学学会、台湾振动噪音工程学会及台湾声学学会共十一家学会为本次会议的主办单位。福建天盛恒达声学材料科技有限公司、国家噪声与振动控制工程技术中心及北京图声天地科技有限公司为会议的三家协办单位, 福州新飞扬商务会展服务有限公司为会议承办单位。

会议于 2013 年 11 月 10 日上午正式开幕, 来自全国各地的代表共 182 名, 会议筹委会委托上海交通大学《噪声与振动控制》编辑部编印的会议论文集已发到代表们手中, 其中共编入了 110 篇会议论文, 内容涉及建筑声学及厅堂音质、环境声学与环境振动、标准体系建设与行业发展、运输工具噪声与振动、声源和振源识别与控制技术、仿真预测与噪声地图、测试技术与仪器开发、标准研讨与环境评价、吸声降噪材料与消声减振器材, 体现出两年来噪声与振动在各个技术领域取得了长足的进步和发展。

全国噪声与振动控制工程学会会议自 1982 年在安徽黄山首届会议至今已 31 年, 形成了两年一届的会议机制, 已先后成功召开了共 12 届会议。无论是会议主办单位、参会代表人数及报送论文的数量都有了很大的增长。如主办单位由原三五家增加到 11 家, 代表人数由近百人增加到最多达二百余人, 交流论文也从数十篇发展到最多达 160 篇, 在国内产生了广泛的影响。国际著名声学专家、中科院资深院士马大猷教授生前十分关心和支持我们的多届学术会议, 并给与悉心指导和帮助, 还曾先后亲自出席了共六届会议, 每次都为会议作精彩的大会报告, 为会议增光添彩, 给代表们留下深深的怀念。在本届会议上, 中国环保产业协会噪声与振动控制专业委员会前主任委员、现首席顾问方丹群教授(已移居美国多年, 现任美国绿色环境科学院院长、美国声与振动研究所所长、美国泛美国际集团董事会主席、高级科学家)不远万里从美国洛杉矶赶来福州参会并作了“噪声控制工程学的建立与发展”的大会专题报告, 受到与会代表们的欢迎。

本届学术会议由中国环保产业协会噪声与振动专业委员会邵斌秘书长主持, 章奎生主任委员在开幕式上致了开幕词, 福建省环保产业协会常务副会长兼秘书长胡致鹏先生致了欢迎词后全体代表合影留念, 仅两天的会期开得紧凑热烈。程明昆、张斌、方庆川、李晓东、吕玉恒、杨志刚、邵斌、辜小安等专家代表先后在开幕式后的大会上作了专题报告; 在第二天的三个分会场上共交流了百余篇论文, 代表们都认真准备了论文报告、积极发言提问、认真讨论交流、气氛热烈、收获颇多。在开幕式当晚又召开了企业家论坛会, 由上海申华声学装备公司张明发总经理主持, 很多企业家代表在论坛会上畅谈交流了企业成长发展的艰辛和感受。来自美国的方丹群教授在会上代表美国声与振动研究所向全国噪声与振动控制专业委员会主任委员章奎生教授颁发了“高级顾问”的聘任证书。

本届学会会议开得圆满成功, 并于 2013 年 11 月 11 晚正式闭幕。