

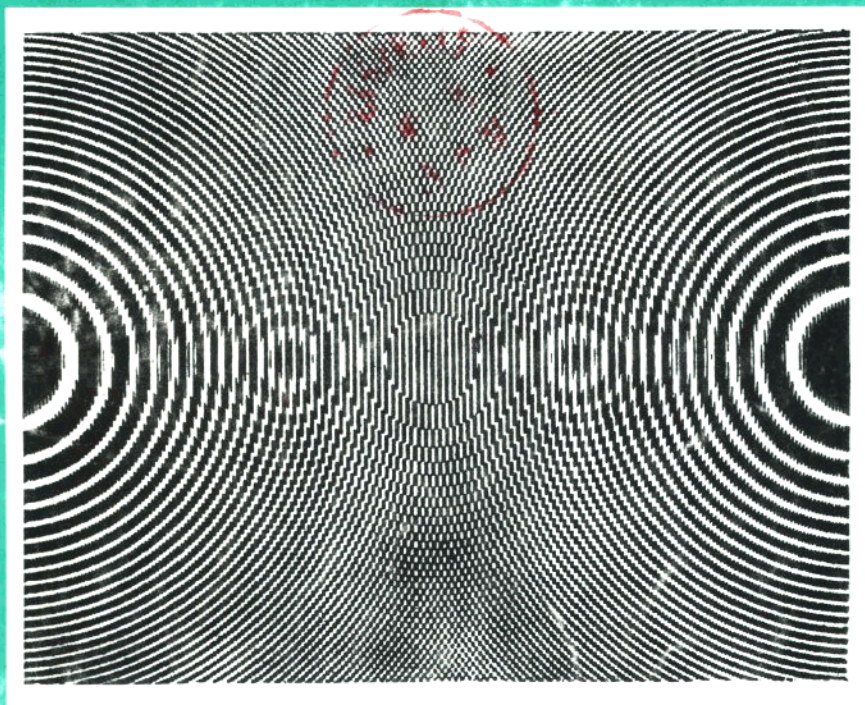
中国科技论文统计用期刊

ISSN 1000-3630

声学技术

Technical Acoustics

第 18 卷



中国声学学会 1999 年青年学术会议[CYCA'99]论文集

1999

增刊

前 言

中国声学学会青年学术会议[CYCA'99]

组织机构名单

主办单位	中国声学学会
承办单位	中国声学学会青年工作委员会 湖北省声学学会
会议主席	田 静
会议副主席	王 丁, 孙 超, 杨德森
会议秘书长	孙光苏
组织委员会	陈 宇, 陈 剑, 陈伟中, 初 敏, 丁 辉, [按拼音排序] 杜利民, 方庆川, 方世良, 何世堂, 林 立, 林书玉, 刘镇清, 沙 冰, 王英民, 吴群力, 谢菠荪, 俞孟萨, 张春华
顾问委员会	杨士莪, 李明轩, 张家骥, 侯朝焕, 程明昆
文集出版	顾亚平
会议秘书	罗 燕



香港声学学会

(1993 成立)

香港邮政总局邮箱 7261 号

目 标

- 推广声学知识
- 确保专业的地位
- 维持专业的完整

会 员

- 包括专业工程师，则师，
政府官员，大学讲师及研究员

- I-INCE 会员
- WESTPRAC 会员
- IIAV 合作会员

<http://www.hk.super.net/~hkioa>
hkioa@hk.super.net



98 年探访北京



98 年探访星加坡



97 年举办 WESTPRAC VI



96 年探访日本

目 录

综述报告

浮筏隔振技术在舰船上的应用与发展	林 立(1)
声表面波低插损滤波器研究进展	何世堂(5)
獐养长江江豚声信号特征和功能	王克雄(9)
现代信号处理在机械故障诊断中的应用及展望	陈 进(13)

A 物理声学

生物组织的声参量阵效应成像	章 东(17)
横向各向同性圆柱固体对超声波的散射	刘胜兴(19)
液体分子碰撞因子与压力和温度的关系	卢义刚(21)

B 水声学

多亮点目标强度的模拟技术方法	李正刚(23)
舰船辐射噪声双谱特征的提取	荆 东(25)
拖线阵左右舷分辨技术研究	杜选民(27)
基于光纤传输的信号采集与处理系统	杜选民(29)
声呐目标强度(TS)计算的板块元方法	范 军(31)
基于快速沃尔什变换的回声信号的特征提取	林正青(33)
探雷用侧扫声呐的研制	许 枫(35)
数字增益控制水声接收机	杜文萍(37)
海底浅地层剖面声呐的数字信号处理	蒋立军(39)
数字测深仪技术	熊 鹰(41)
声呐发现目标横距曲线统计模型	宣良龙(43)
海洋中的三维声传播分析	卢晓亭(45)
声波在过渡区海域传播的几个重要特性	姜冠亭(47)
二维抛物方程方法中海底边界条件的改进	朴胜春(49)
水下目标特性研究	李秀坤(51)
利用爆炸声传播损失垂直结构反演海底声参数	宫在晓(53)
视在方位方差检测器及其性能分析	梁国龙(55)
多功能智能靶标系统	梁国龙(57)
用于宽带主动声纳信号检测的副本相关积分器的改进	黄海宁(59)
利用 M 序列码信号的相位信息作垂直阵的倾斜修正	包玖红(61)
垂直阵简正波分解迭代算法的性能分析	郭圣明(63)
MODELAB 快速简正波算法及其应用	刘建国(65)
采样率对 LFM 干扰自适应抵消的影响	马徐琨(67)
一种宽带参数估计器的性能分析	张静远(69)
对测量距离误差宽容的海底反演新方法	肖 灵(71)
温跃层浅海中的声场垂直相关	李风华(73)

深海匹配场定位实验研究	鄢 锦(75)
粗糙海底中简正波耦合系数的计算	彭朝晖(77)
密肋薄壁结构声呐导流罩设计一例	俞孟萨(79)
水声数字通信系统的性能分析	张 歆(81)
圆弧阵中波束域加权子空间拟合算法性能分析	杨益新(83)
三元圆阵对双目标的跟踪性能研究	孙 超(85)
壳式管道管壁能量流测量原理	朱显明(87)
D-S 数据融合方法在被动声呐目标识别中的应用	方世良(89)
混响场的时空相干性研究	张建兰(91)
声场预报的实验研究	徐五岗(93)
海洋声环境特性研究	马 力(95)
简正波展开与声源定位	胡 涛(97)
液态界面处带有翼翅的刚性圆柱的声散射	刘宏伟(99)
基于 DSP 的水下高速运动目标的参数估计	顾亚平(101)

C 超声学、量子声学与声学物理效应

多点测量的时差式超声波流量计	葛俊杰(103)
采用“WD 倒谱”估计脾组织的散射子平均间距	他得安(105)
固体板中兰姆波的积累二次谐波发生	邓明晰(107)
热疗用凹球面换能器声场及其引起的温度场	钱盛友(109)
气介式换能器的辐射声场研究	张光斌(111)
铝板背表面热弹位移场的数值与试验研究	胡文祥(113)
兰姆波无损检测有效性分析	黄瑞菊(115)
低损耗、1 千 1 百兆赫兹声表面横波谐振器的研究及应用	周 卫(117)
超声多普勒双晶探头的振动模式与声场特性	喻 明(119)
脉冲波声全息成像实验研究	程建政(121)
水浸式超声检测成像系统	程建政(123)
横向耦合谐振滤波器寄生响应抑制	李 勇(125)
无线遥控式超声波智能料位测量系统	景 博(127)
声表面波滤波器耦合模分析	傅金桥(129)
板状波导中周期排列圆柱对 SH 波传播特性的影响	王小民(131)
高分辨率声表面波频谱分析系统	宫俊杰(133)
宽带低插损双模声表面波滤波器	许钊庚(135)
板中声—超声信号的兰姆波分析	刘镇清(137)

E 噪声、噪声效应及其控制

基于小波变换的舰船噪声信号时频域特征提取	张明之(139)
基于模糊神经网络分类器的大小船舶识别	周 越(141)
基于 K-L 变换的船舶噪声特征向量的降维处理	刘增武(143)
有源消声中声源电阻抗规律的实验研究	侯 宏(145)
低频声有源吸收理论研究	陈克安(147)
液压消声器消声量计算程序	梁向东(149)

火电厂冷却塔噪声治理的计算机模拟	范亚菊(151)
海洋环境噪声远场数值研究	林建恒(153)
连接状况对结构间振动传递的影响	盛美萍(155)
强背景噪声下弱信号提取原理	王敏庆(157)
直升机飞行帽有源消声设备的研制	余文斌(159)
提高泡沫玻璃吸声性能的研究	毛东兴(161)
高分子涂层溶解过程中梯度分层的吸声性能研究	王源升(163)
上海市轨道交通明珠线声屏障试验研究	魏化军(165)
房间空气调节器的噪声测试与分析	田 静(167)
声波在平行圆管表面上的多极子散射	姜根山(169)

H 生理与心理声学

纯音双耳听闻与双耳信号时差和强度差	龙长才(171)
有限持续时间纯音的强度 JND 与强度的关系	龙长才(173)

I 生物声学

脉搏声信号的数据采集、处理与谱分析	王炳和(175)
生物组织的超声反射 CT 成像研究	颜永生(177)
心脏 B 超的任意方向 M 型图象合成	刘景景(179)

L 声学测量、信号处理与分析的方法、仪器

水声遥控(JF 码)技术的研究	申友柱(181)
基于现代谱估计理论的目标特征抽取方法研究	李 萍(183)
激光遥感声学定位信号处理机的电路设计	田作喜(185)
简化的立体声声像扩展方法	谢菠荪(187)
声相关流速剖面仪(ACCP)原理样机研制	王长红(189)
平均声强器性能分析	李春旭(191)
神经网络推广性能的敏感度分析	孙晓艳(193)
P-U 法声强测量及其应用研究	何元安(195)
声压振速联合信息处理技术研究	刘 宏(197)
基于自适应 FIR 数字滤波器的高精度方位估计	刘 勋(199)
基于 ADSP-21060 SHARC 高速通用声呐信号处理系统	孙长瑜(201)
基于离散马尔可夫模型的水下运动目标识别方法	闫 娟(203)
地质预报高分辨率检测的 HSP 法	刘建军(205)
电力变压器绕组变形超声测量装置的研究	章述汉(207)

M 声学换能器

一种高效空气超声换能器的设计研究	李朝晖(209)
大功率纵—扭复合模式压电超声换能器	林书玉(211)

浮筏隔振技术在舰船上的应用与发展

林立

(船舶系统工程部, 北京, 100036)

Application and Development of Vibration

Isolation Technology on Ship

Lin Li

(Systems Engineering Research Institute, Beijing, 100036)

1. 引言

舰艇在中低速航行时, 影响其隐蔽性和探测能力的主要噪声是由于艇上机械设备运转而产生的结构噪声, 结构噪声通过支撑基座(第一传递通道)、管路系统(第二传递通道)及空气传向艇体, 激励艇体振动并向水中辐射噪声。研究表明: 结构噪声通过支撑基座传输的能量占主要部分。

控制结构噪声传递的有效手段是对机械设备采用隔振技术, 即在设备与支撑基座之间插入单层隔振系统、双层隔振系统乃至浮筏隔振系统, 在管路系统上加装挠性接管及采用隔振罩等措施降低空气噪声。本文着重介绍第一通道的隔振技术。

2. 隔振技术发展的历史过程

最早出现的隔振形式是单层隔振, 即在设备和支撑基座之间插入一层减振器, 其理论已经很成熟并在舰船上广泛采用。优点是简单有效, 隔振效果一般在 $10 - 20$ dB 之间, 缺点是不适用于低转速大型设备的隔振。因为当机器转速很低时, 减振器刚度必须很小, 从而导致系统稳定性较差。为改进其不足, 隔振形式由单层隔振发展为双层隔振, 即在设备和支撑基座之间插入两层减振器和一个中间质量。在双层隔振系统中, 当激励频率大于二次谐振频率后, 其传递率以 $1/\omega^4$ 衰减, 而单层隔振则以 $1/\omega^2$ 衰减, 因此即使采用刚性大的双层隔振系统代替柔软的单层隔振系统, 仍可得到较好的隔振效果, 同时又避免了单层隔振系统稳定性差的不足。研究表明, 双层隔振系统可以达到低频 35dB、中高频 50 dB 的隔振效果。但是要想获得好的隔振效果, 需要合理配置两层减振器并选用大质量比(中间质量/设备质量)的中间质量, 其中间质量一般为机组质量的 40—100%。然而过大的质量往往是舰船所无法承受的, 这在一定程度上限制了双层隔振技术的应用与发展。

舰船上有大量振动大的设备需要进行隔振处理, 同时又无法承受良好隔振效果所带来的质量增加, 在这种情况下, 应用的需求促进了隔振技术的发展, 人们想到把建筑工程中浮动地板的技术引入舰船, 将单台设备扩展到多台设备, 将多台设备共用一个中间质量(后来发展为筏体)进行隔振, 由此产生了浮筏隔振系统。因此, 可以说浮筏隔振系统是具有多个激励源的隔振系统。浮筏装置与双层隔振装置相比, 有如下特点:

a. 由于多台设备集中布置, 设备互为质量, 可以大大降低中间筏体的质量, 从而解决了双层隔振装置中间质量过大的问题;

b. 设备的集中布置不仅节省了质量, 而且节约了空间, 使设计具有更大的灵活性, 容易满足总体设计的要求;

- c. 经过合理的设计, 浮筏装置同双层隔振装置一样, 具有良好的隔振效果;
 - d. 由于筏体上要安装多台设备, 尺寸较大, 结构必然复杂多样, 这时筏体不宜再视作刚体简化, 而是具有梁和板的特性, 必须考虑结构的非刚性对隔振效果的影响。
- 浮筏装置的上述特点决定了它具有更广泛的应用前景。

3. 浮筏装置的组成及其分类

浮筏装置就是将多台设备放在一个公共筏体上进行整体减振的隔振装置。它是由被隔离设备、第一层减振器、筏体和第二层减振器组成。

浮筏装置设计的首要原则是避开共振, 即系统的固有频率要避开机械设备主干扰频率, 同时尽量使系统各部件的阻抗失配以抑制结构噪声的传递; 其次要考虑声学设计的有关问题, 如尽量延长由机脚支撑点到筏体连接船体支撑点之间的传递路线、增大安装基座及减振器安装点的阻抗以及加大筏体的阻尼等。

纵观浮筏隔振技术的发展, 为适应在舰艇上应用这一需求, 浮筏装置的设计越来越体现出灵活多变的特点, 这些特点主要体现在:

- a. 被隔离设备从多台同类设备(扰动特性相同)发展为多台不同类型设备(扰动特性不同), 设备从平面布置发展为空间布置;
- b. 在设备与筏体的连接形式上, 有刚性连接、弹性连接及混连形式;
- c. 在设备与筏体的支撑形式上, 由垂向支撑逐渐发展为侧向支撑和悬吊支撑, 同时, 减振器也由仅仅适合垂向支撑和侧挂安装发展为适宜于各向安装的灵活多变的组合形式;
- d. 筏体结构形式由梁式、板架式发展为适宜于设备空间布置的框架式, 筏体材料由刚结构发展为阻尼结构, 以进一步抑制中高频结构噪声的传递;
- e. 支撑基座由坐墩型发展到悬臂梁式及吊装于铺板上的任意结构形式, 从而实现对由机械设备引起的辐射噪声和白噪声的全面控制。

基于上述特点, 按其结构形式, 可将浮筏装置分为平置式浮筏、侧挂式浮筏和框架式浮筏三种类型, 其特点列表如下:

表 1: 浮筏装置分类

	平置式浮筏	侧挂式浮筏	框架式浮筏
设备	同类设备、平面布置 (平行地面)	同类设备、平面布置 (垂直地面)	非同类设备、 空间布置
减振器	垂向支撑	垂向及横向支撑	三向支撑并存
筏体	梁式或板架式	板架式(垂直地面)	框架式
基座	坐墩型	悬臂梁型	任意形式

4. 浮筏隔振技术的研究现状

国外浮筏隔振技术的研究已有几十年的历史, 无论理论试验研究方面还是应用方面都已较成熟, 并广泛地装备于各型舰艇。如: 俄××、××艇上就采用了多种不同结构形式的浮筏装置, 对浮筏技术的运用达到了随心所欲的程度。最具代表性的是二舱底的大型框架式浮筏装置, 二舱底的所有设备(包括动力与非动力设备共 17 台)都安装在一个悬吊于铺板上的工字梁框架式筏体上, 设备不直接与艇体接触, 或悬吊于铺板或侧挂于横舱壁以延长结构噪声的传递路径, 这是俄潜艇控制机械噪声的一个根本思路。在对辅机噪声进行控制的基础上, 在改进艇的主推进系统上也采用了浮筏隔振措施, 将柴油发电机组及配套设备安装在公共地板上, 地板四周用减振器支撑进行整舱隔振, 对主推进系统结构噪声的控制将更有利于控制全艇的噪声。

据有关资料介绍, 苏格兰渔业调查船上也采用了浮筏技术, 筏体上弹性安装了作主、辅机用的 2 台交、直流柴油发电机组和 1 台直流柴油发电机组, 还有各种泵、压气机、电机等, 为了防止空气噪声激励壳体, 所有设备都装在一个大的隔声罩内, 筏体通过 50 个橡胶隔振器支

撑在船体上,整个装置总重量近 300 吨、总面积为 $16.5\text{m} \times 14\text{m}$,并且第二通道经过了妥善处理。实船试验表明:通过两级隔振后,从机组到船体总的振动传递损失在低频段 ($31.5\text{Hz} - 250\text{Hz}$) 为 35dB ,高频段($250\text{Hz} - 10\text{kHz}$)达到 50dB 。

猎扫雷舰艇是应用浮筏装置的一个重要平台,总结当前西方国家在猎扫雷舰艇上采用的浮筏装置,主要有两种基本结构形式:一种是横向悬吊式浮筏装置:主机及其附属的辅机一起弹性地安装在一公共的吊篮状的筏架上。筏架再弹性地支撑在船体舷侧构架上,形成双层隔振浮筏装置。英国的 Hunt 级反水雷舰就是采用这种结构形式的浮筏进行主辅机隔振的;另一种是纵向悬吊式浮筏装置:主机通过减振器弹性地支撑在筏架上,而筏架则支撑在机舱的前后舱壁上,其连接方式可以是弹性的也可以是刚性的。意大利 Lerici 级猎雷艇即是采用这种结构形式的浮筏装置。这种悬吊式浮筏结构的主要优点是:由于筏架的支撑点一般多在水线上面,因此大大降低了由空气噪声对舰船壳体的声激励而产生的水下辐射噪声,延长了结构噪声的传输路径,减轻了由水下爆炸引起的对舰船主动力系统的冲击载荷。

我国从“八.五”开始,对舰船浮筏装置逐步开展理论和应用方面的研究。“八.五”期间的研究工作主要围绕着浮筏系统的动力学建模和系统动力特性分析,形成了多种建模分析方法,如多刚体动力学建模分析方法、有限元建模分析方法、阻抗综合法等。动力特性分析主要局限于系统的固有特性分析,通过计算分析系统的固有频率及相应的振型,初步摸清了结构参数与系统动力学特性的内在关系,得到了一些指导浮筏系统设计的原则和结论。系统响应特性由于其固有的复杂性和阻尼处理技术上的困难,“八.五”期间并未得到解决。

应用研究方面主要开展了平置式浮筏装置的应用研究,从结构形态上讲,平置式浮筏装置是一种最简形式,设备为同类型(扰动特性相同),且设备平面布置,上、下层减振器均以垂向为主承载方向,各减振器受力均匀,筏体为简单规则的板架结构。对于这一结构形式的浮筏系统,经过几年的理论试验研究,已对它的动力学特性有较深入的了解,并已有了应用的实例。

$\times \times$ 测量船三台柴油发电机组采用浮筏装置进行整体隔振,筏体尺寸为 $4.2\text{m} \times 6.5\text{m} \times 0.6\text{m}$,重量 12.8 吨。在陆上配机试验中,各种工况下振级落差均达到 42dB 以上;在系泊试验中,振级落差达到 35dB 。

在 $\times \times$ 旅游船上,将两台柴油发电机组进行了浮筏隔振处理。实船测试结果表明:机组与船体基座之间的振级落差为 30.3dB ,在对管路系统固定方式进行适当改进后,振级落差提高到 36.6dB ,两者相差 6dB ,如果能进一步采用性能良好的软管,整个系统将会获得更好的隔振效果。同时,由于主要振源得到了控制,相临舱室的空气噪声也有所下降。

“九.五”期间,为了评定浮筏系统的隔振效果,在理论研究方面进行了浮筏系统响应计算工作,并进行了结构参数灵敏度分析,目的是寻求影响浮筏系统动力学性能的主要结构参数,以指导我们的工程设计。在浮筏结构形式上,以有工程型号背景的侧挂式浮筏和框架式浮筏为研究对象,开展设计、计算、试验和隔振效果的考核评定工作。从表 1 可以看出,从平置式浮筏发展到侧挂式浮筏和框架式浮筏,体现了设计的灵活和技术的进步,但由于结构形式的复杂、减振器安装方式的改变等,也给研究工作带来了很大难度,每个阶段的跨越,都要解决一系列关键技术。

由平置式浮筏发展到侧挂式浮筏要解决以下关键技术:

a. 由于减振器采用横向支撑,使各减振器受力状态复杂,在浮筏装置的设计、安装和试验中要考虑减振器的三向刚度、减振器的不同变形量等诸多因素对隔振效果的影响;

b. 由于悬臂梁型基座的刚度弱化,而使浮筏装置的隔振效果有所下降。

从侧挂式浮筏发展到框架式浮筏除了要解决上述两个问题外,又出现三个新问题:

a. 如何确定合理的参量和方向来评价浮筏系统的隔振效果?

b. 不同转速、不同激励力幅值和方向的扰动源同时作用在筏体上,要使多台设备的扰动频率与系统的固有频率完全避开是非常困难的;

c. 框架式筏体的整体刚度较差,其振动模态往往是以规律性较差的局部模态为主,这无疑使设计和试验研究工作更加困难。

对于这些问题的研究是我们“九.五”乃至“十.五”的研究任务。

5. 我国浮筏隔振技术的发展方向

我国经过近十年对浮筏技术的研究,无论在理论、试验研究还是在应用研究方面都取得了一定成绩,但与国外相比、与我国安静型潜艇的应用需求相比,还相距甚远。综合国内研究现状和背景需求,笔者认为我国浮筏隔振技术的发展方向是:

a. 开展主推进系统隔振技术研究

从舰艇上机械设备对舰艇辐射噪声和自噪声贡献的角度分析,主推进系统的贡献占更大的份额。因为主机作用于舰艇上的激励力和输出能量都远远大于各辅机设备,这就从需求上提出了主推进系统的隔振问题。而且,由于主机的转速低、质量大,采用一般的平板式减振器往往无法获得理想的隔振效果,如 $\times\times$ 及 $\times\times$ 艇主推进电机的隔振效果都只有 8—10 dB,而俄潜艇主推进电机的隔振效果则达到了 20 dB 以上,这说明我国在低频、大载荷减振器的研制方面还存在着差距。因此,研究如何使主机的单层隔振装置获得更理想的隔振效果以及如何实现主机的双层浮筏隔振,是我们今后要开展研究的方向之一;

b. 复杂结构的浮筏装置研究

应在“九.五”研究的基础上,针对结构复杂的浮筏装置继续开展上述关键技术的研究,摸清其动力学特性的内在机制,总结出指导工程设计的规律和结论,为安静型潜艇上采用灵活多样的浮筏装置提供技术储备;

c. 开展浮筏系统隔振效果与水下辐射噪声关系的研究

在“八.五”和“九.五”的研究中,由于试验条件的限制,没有深入开展浮筏系统隔振效果与水下辐射噪声关系的研究。随着研究工作的深入,提出了系统研究结构噪声的传递及辐射规律的需求,尤其是“九.五”期间研制的潜艇舱段缩比模型,为浮筏装置的结构振动及水下噪声测试提供了试验平台,使我们有条件开展这方面的研究工作;

d. 着重进行浮筏隔振技术应用研究

在把浮筏技术应用于舰艇的工程转化过程中,会遇到很多预研工作中不曾涉及到的新问题,分析和解决这些问题,能使我们对浮筏技术的认识不断深化,同时还能进一步明确今后研究工作的方向,使之更加实用化。

参考文献:

1. 沈密群 严济宽 舰船浮筏装置工程实例 噪声与振动控制 1994.2
2. 尚国清 关于舰船浮筏系统的特征演化 隐身技术 1998.1
3. 林立 尚国清 立体框架式浮筏装置方案设计 船舶系统工程部科技报告 1998.9

声表面波低插损滤波器研究进展

何世堂 许钊庚 汪承灏
(中国科学院声学研究所, 北京 100080)

SAW Low Loss Filters For Mobile Communications

He Shitang Xu Zhaogeng Wang Chenghao
(Institute of Acoustics, Academia Sinica, Beijing 100080)

1. 引言

声表面波(SAW)技术是七十年代初才发展起来的,以声波作信息载体,在声波的产生、传播和接收过程中对信息进行加工处理的学科。由于SAW器件具有体积小、重量轻、性能优异、一致性好、动态范围大等优点,在雷达、电子战、广播、电视等领域获得广泛应用。

80年代末期以来,由于移动通信的飞速发展,声表面波(SAW)器件的需求急剧增长,而且要求越来越高。大多数欧洲、北美和日本的SAW滤波器制造商都在增添设备,网罗人才,以满足市场的需求,从而掀起声表面波技术又一研究新高潮^[1]。

SAW滤波器需求剧增的原因是由于SAW滤波器体积小、重量轻,体积和重量分别是介质滤波器的1/40和1/30,适应了移动通信设备微型化的发展方向。但早期SAW器件的缺点是插损较大,10dB以上。经过这一领域科学家的不懈努力,这一难题逐渐被攻克,插入损耗已能达到3dB左右,最低可达1dB。逐步取代介质滤波器,在移动通信设备中获得广泛应用。

普通两换能器结构SAW滤波器插入损耗大的主要原因是双向损耗^[1]:输入换能器向两个方向辐射声波,而只有一个方向的声波到达输出换能器;同样,输出换能器只接受了一个方向的声波,因而,最低有6dB的双向损耗。降低插入损耗主要是降低双向损耗。从原理上讲不外乎三种类型:(1). 谐振类型:在两换能器外面放置两个反射栅阵,形成谐振腔结构,防止向两边辐射声波的泄漏;(2). 单向换能器类型:使声波只往一个方向辐射;(3). 叉指叉指换能器类型:将多个输入、输出换能器交替重复排列,使每个输入换能器的两边都有输出换能器,输入换能器向两边辐射的声波都被接收;反之亦然,从而避免了双向损耗。经过近几年的实践,比较实用的结构有:单相单向换能器;横向耦合谐振滤波器;纵向耦合谐振滤波器;镜像阻抗耦合滤波器。下面分别介绍这几种结构所达到的性能及应用范围。

2. 单相单向换能器(SPUDT)

SPUDT结构如图1所示^[2],在叉指换能器的内部放置一个分布反射栅阵,使反射声波与辐射声波在一个方向上同相相加,在另一个方向反相相消,使声波只往一个方向辐射。

SPUDT所能达到的技术指标为:插损3~10dB,带宽0.1%~2%,中心频率10~400MHz,带外抑制40~60dB,应用范围为数字移动电话和无绳电话中频滤波器。

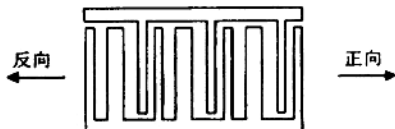


图1 SPUDT 结构

图2为声学所研制的两种中频滤波器,中心频率均为70MHz。图2(a)为GSM中频

滤波器,插损<5dB,1dB带宽>0.2MHz。图2(b)为CDMA中频滤波器,插损约10dB(比采用普通双向换能器设计的滤波器降低了约10dB),矩形系数1.7,远阻带抑制>50dB。这一器件的难度在于既要有很好的矩形系数,又有较低的插损。为此,又有人提出了RSPUDT结构。

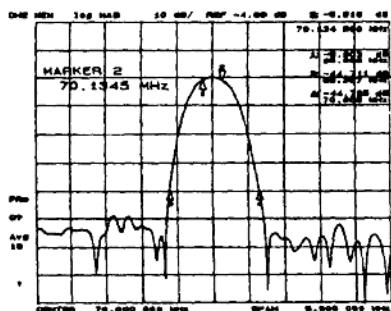


图 2(a) GSM 中频滤波器频率响应

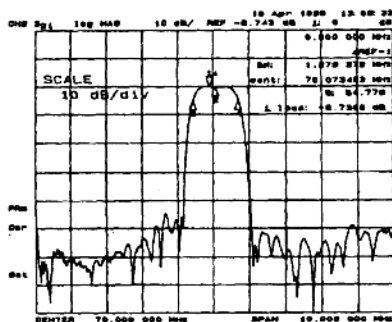


图 2 (b) CDMA 中频滤波器频率响应

3. 横向耦合谐振滤波器

基本结构如图 3 所示^[3], 它由两个单端对谐振器耦合在一起组成, 两通道形成一个声波导。在这个波导中可以传播多个导波模式。如果每个通道的孔径非常小, 小到只有几个波长, 则波导中只存在一个对称模式和一个反对称模式(图 3 右边所示), 两个模式之间的速度差产生一个双极点响应, 即存在两个峰。匹配以后双峰消失, 得到一个平坦的通带。

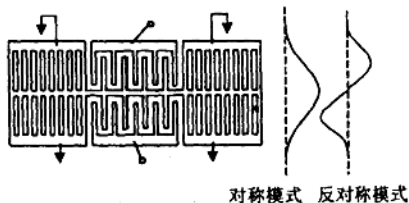


图 3 横向耦合谐振滤波器结构

此结构所能达到的技术指标为: 插损~3dB, 带宽 0.05~0.1%, 带外抑制>60dB, 中心频率 50~600MHz。应用范围为模拟移动电话和无绳电话中频滤波器及寻呼机射频滤波器。图 4 为声学所研制的寻呼机用滤波器的频率响应, 插损 2.6dB, 3dB 带宽约 80KHz。

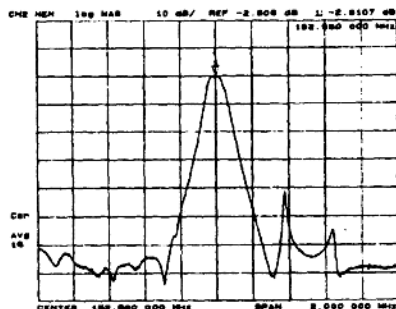


图 4 寻呼机用滤波器频率响应

4. 纵向耦合谐振滤波器

基本结构如图 5 所示^[4], 工作原理是利用了反射栅阵之间的纵向不同模式(通常是最低的

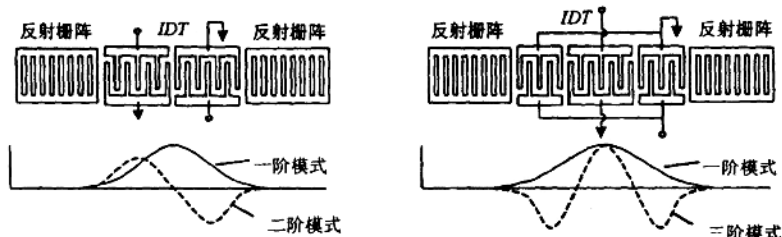


图 5 纵向耦合谐振滤波器结构

两个模式)的耦合而实现的。

采用高耦合系数材料,如 36°LiTaO_3 、 64° 和 41°LiNbO_3 , 用此结构可实现宽带滤波器,带宽最大可达 7%。同时可获得非常低的插入损耗,最小 1dB。好的群延迟特性,起伏最小 20ns。缺点是阻带抑制较差,一级(两极点)滤波器只有十几分贝。采用多级级连可克服这一缺点,且保持较低的插入损耗,两级级连可保持在 3dB 左右,近阻带抑制约 25dB,远阻带可达到 50dB 左右。图 6 为声学所研制的滤波器,图 6(a) 为采用一级结构设计的无绳电话双工器的频率响应,插损小于 2dB,1dB 带宽大于 0.6MHz,图 6(b) 为两级级连的频率响应,中心频率 281MHz,插损小于 3dB,1dB 带宽约 11MHz,图 6(c) 为两级级连的响应,中心频率 891MHz,1dB 带宽 28MHz,由于采取了提高频域高端阻带抑制的措施,阻带抑制大于 45dB,插入损耗稍大,约 6dB。

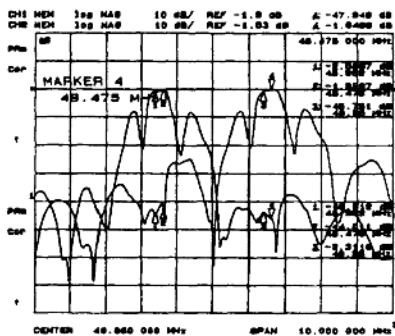


图 6(a) 中国标准无绳电话双工器频率响应

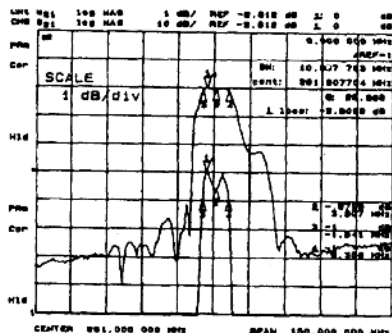


图 6 (b) 281MHz 寻呼机滤波器频率响应

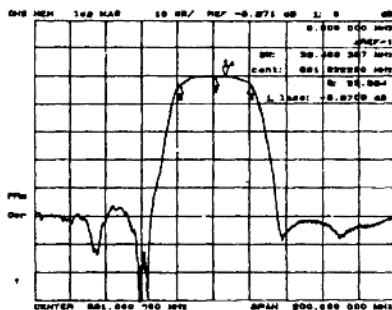


图 6 (c) 891MHz 射频滤波器频率响应

图 6 纵向耦合谐振滤波器频响

5. 镜像阻抗耦合滤波器

基本结构如图 7 所示^[5],它利用了耦合换能器的阻抗特性,在同步频率附近的一定范围内,耦合换能器的阻抗呈纯阻特性,能量从一个耦合换能器完全转移到另一个耦合换能器,形成滤波器的通带。随着频率偏离通带,阻抗中的抗性增大,能量大部分被反射,损耗迅速增加。随着频率进一步偏离,耦合换能器的阻抗以抗性

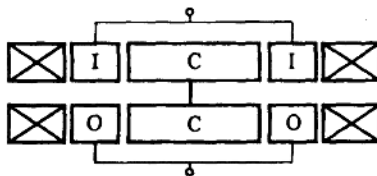
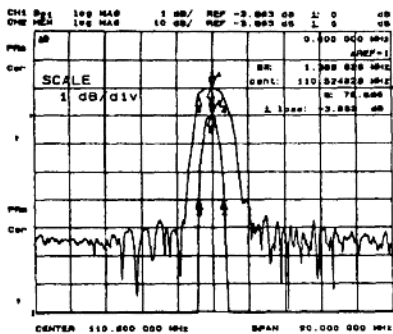
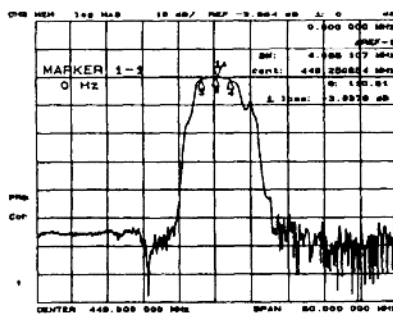


图 7 镜像阻抗耦合滤波器结构

为主,能量几乎全部被反射,形成阻带。因此,这种结构可获得比较陡的过渡带和高的阻带抑制。利用高耦合系数材料可以获得较宽的带宽,最大可达 4%左右。既可以作中频滤波器,也可以作射频滤波器。图 8 为声学所研制的两种滤波器,相对带宽约 1.2%,插入损耗<4dB,



(a) DECT 用中频滤波器频率响应



(b) 铁路通信用射频滤波器频率响应

图 8 镜像阻抗耦合滤波器频响

阻带抑制大于 50dB, 图 8(a)为 DECT 用中频滤波器, 图 8(b)为铁路通信用射频滤波器。

6. 今后的发展趋势

SAW 技术的发展充满希望, 也面临挑战, 希望之所在是应用前景广阔。但在技术上面临挑战, 应用对 SAW 器件提出愈来愈苛刻的要求。其发展趋势有如下特点:

(1) 向高频方向发展: SAW 器件应用领域增长最快的是移动通信。目前移动通信用射频 SAW 滤波器的频率已达 900MHz, 线宽约 $1\mu\text{m}$, 而且目前正在发展的个人通信系统所使用的频率在 1.8GHz, 将来还会进一步提高, 线宽在 $0.5\mu\text{m}$ 以下。提高 SAW 器件工作频率不外乎以下途径: (a) 采用高声速材料, 或采用声体波; (b) 寻求更好的换能器结构; (c) 工艺技术的提高。

(2) 对器件的综合技术性能要求越来越高: 首先是插入损耗将要求进一步降低; 二是要求更大带宽; 三是非常小的通带波纹; 四是陡的过渡带; 五是高阻带抑制; 最后, 也是很重要的一点, 要求好的群延迟特性。这是由于通信系统朝多媒体方向发展, 即不仅要传语音, 而且要传图像和数据, 以至带宽要增加很多, 而给 SAW 滤波器提出的更高更严的要求。

要满足应用上的这些要求, 必须在以下三个方面开展基础研究工作: (1) 研究压电晶体表面高速模式和寻找高声速材料, 以提高器件的工作频率; (2) 栅阵反射特性的深入研究, 以便在器件的设计中能根据需要灵活地增加或抑制电极对声波的反射; (3) 声表面波耦合模理论的深入研究, 以获得更精确的设计和软件。另外, 还需要更好的工艺设备的支持。

参考文献

- 1 何世堂. 应用声学, 1995, 14 (5) 1995: 1-7
- 2 Hartmann C S, Abbott B P. IEEE Ultrasonics Symp. Proc., 1989:79-89
- 3 Tanaka M et al. 38th Frequency Control Symp. Proc., 1984:286-294
- 4 Morita T. IEEE Ultrasonics Symp. Proc., 1992:95-104
- 5 Anemogiannis K et al. IEEE Ultrasonics Symp. Proc., 1988: 77-82

作者简介 何世堂, 男, 1958 年出生, 1982 年毕业于湖南大学应用物理系, 1987 年从中国科学院声学研究所获硕士学位。现任中国科学院声学研究所研究员、超声电子学研究室主任, 中国声学学会理事。主要研究范围包括: SAW 栅阵反射特性和耦合模理论, SAW 滤波器组, 基于 SAW 滤波器的高速跳频频率合成器, SAW 低插入损耗滤波器及其在移动通信中的应用。曾获中国科学院自然科学二等奖和发明三等奖。

豢养长江江豚声信号特征和功能*

王克雄 王 丁

(中国科学院水生生物研究所, 武汉, 430072)

Characteristics and Functions of Sound of the Yangtze Finless Porpoise (*Neophocaena phocaenoides*) in Captivity

Wang Kexiong and Wang Ding

(Institute of Hydrobiology, Academia Sinica, Wuhan, 430072)

1. 引言

长江江豚(*Neophocaena phocaenoides*)是生活于长江中下游干流和洞庭湖、鄱阳湖及其大型支流的江豚亚种,它具有发达的回声定位系统,声通信在其生命活动中有着至关重要的作用。长江江豚的行为学研究有较多的工作积累^[1,2],但这些工作绝大部分都没有包含声通信内容。因此,长江江豚某些行为的生态学意义尚需进一步研究。近年来野外和室内的一些江豚声学实验^[3,4],为进一步开展长江江豚声学研究奠定了良好的基础。本实验分析了人工环境中1雌1雄2头长江江豚在探测、巡游和试图交配等行为状态下声信号的结构,并论述了这些信号的功能。

2. 实验对象与方法

1雌1雄2头江豚于1996年12月8日和14日先后捕于长江嘉鱼和城陵矶江段,它们分属不同野生群体。在野外驯养10余天后,2头豚于当月25日被移入水生所白暨豚馆室内池。2头豚的基本性状如下(1997年12月25日测量):雄豚,体长124 cm,体重34.3 kg,估计年龄2.9岁;雌豚,体长122 cm,体重31.3 kg,估计年龄3.2岁。年龄根据文献[5]提供的体长与年龄关系曲线估算。饲养池呈肾形,钢筋混凝土结构,容积为 $18 \times 8 \times 2.5 \text{ m}^3$ 。

声记录系统由特制水听器(美国康奈尔大学制造)、Archer微型放大器和Marantz PMP-430磁带记录仪组成。系统频响范围为0.2—15 kHz($\pm 3 \text{ dB}$)。录音时水听器悬挂于水池中央水面下1 m处。每周录音1—2节,每节30 min,同时文字记录动物行为。频谱分析使用Engineering Signal™计算机信号分析系统完成。分析频率范围根据信号频谱范围设定为0—10 kHz,频率分辨率设定为49 Hz。利用Microsoft Excel™对频谱测量结果进行简单的统计分析。

3. 研究结果

3.1 声探测频次

水听器置于水中后,2头豚均会前往进行声探测,2豚独立前往声探测和一同前往声探测

* 本研究得到中科院“九五”重大项目(K2951-a1-105)、国家基金项目(39670105)及水生所所长基金项目(980705)资助。

的频次见表 1。2 豚单独声探测时很容易判断发声豚,但当它们一同前往声探测时,判断发声豚就有些困难。不过从 2 豚与水听器的距离和方向差异以及监听到声信号时动物的行为差异,还是能判断发声豚。2 豚一起游近水听器时,大多数情形是雄豚领头更靠近水听器发声,而雌豚只是跟着雄豚且居其侧后方。

表 1 不同性别长江江豚声探测水听器的次数比率

记录节 (每节 30 min)	雄豚独自声探测	雌雄豚一同探测	雌豚独自声探测
1	0.55	0.40	0.05
2	0.60	0.29	0.11
3	0.48	0.17	0.35
4	0.54	0.33	0.13
5	0.00	1.00	0.00
6	0.26	0.63	0.11
7	0.37	0.53	0.10
8	0.16	0.60	0.24
9	0.14	0.53	0.33
10	0.28	0.62	0.10
11	0.32	0.44	0.24
12	0.30	0.35	0.35

表 1 中记录编号是按实验时间先后排列的。实验早期雄豚单独声探测水听器的频次明显高于雌豚,随着实验次数的增多,2 豚单独声探测水听器的频次趋于相等。由于 2 豚一起探测水听器时多半是雄豚发声,因此,总的水平上雄豚探测水听器的发声频次高于雌豚。

3.2 鸣叫声物理特征及其与行为的关系

长江江豚能发出一种类似于鸟类鸣叫声的信号,在巡游、探测、刺激生殖器和试图交配等行为发生时都记录到了这种信号(表 2)。江豚一般每次只发出单个鸣叫声,但偶尔也会连续发出几个鸣叫声,这些连续鸣叫声的时间间隔多为 100—500 ms,因此人耳较容易辨析。

表 2 江豚鸣叫声的物理特征及其与行为的关系

序号	性别	行为	持续时间 ms	峰频 Hz	谐波数	谐波距离 Hz	强脉冲间隔 ms	强脉冲宽度 ms
1	F	独自巡游	561.1	1464.8	12	362.4	2.8	0.62
2	F	探测水听器	447.1	1953.1	7	475.6	2.2	0.33
3	F	探测水听器	254.0	1709.0	9	329.7	2.2	0.65
4	M	刺激生殖器	141.6	1709.0	9	796.7	1.4	0.30
5	M	刺激生殖器	319.4	1757.8	13	731.7	1.4	0.47
6	M	独自巡游	734.0	1513.7	9	578.1	1.6	0.50
7	M	独自巡游	957.0	1855.5	9	409.7	2.4	0.52
8	M	独自巡游	336.7	2441.4	12	411.2	2.4	0.41
9	M	跟在雌豚后面	507.6	1757.8	9	779.7	1.3	0.55
10	M	跟在雌豚后面	357.4	1220.7	10	634.2	0.8	0.57
11	M	跟在雌豚后面	310.2	1416.0	13	701.2	1.4	0.50
12	M	试图与雌交配	288.0	1123.0	10	186.2	5.7	0.61
均值			434.5	1660.2	10	533.0	2.1	0.50
变异系数			0.52	0.21	0.19	0.37	0.59	0.22

长江江豚鸣叫声最显著的特征是时间连续和频率连续。从表 2 中可以归纳出鸣叫声的一些特征:声音持续时间差异较大,但均小于 1000 ms;信号本身是单个脉冲构成的脉冲串系列,