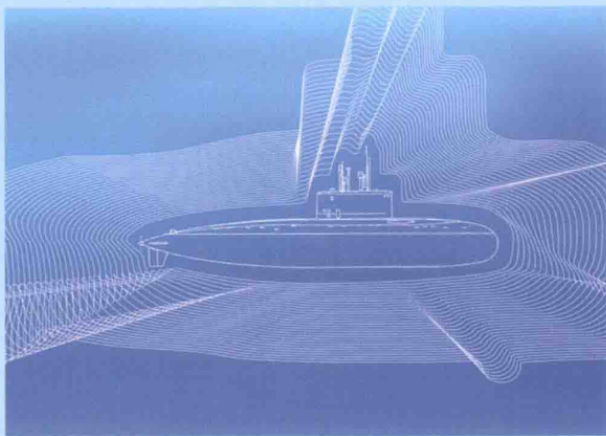


潜艇吸声覆盖层声管 测量方法

陈建平 黄爱根◎著



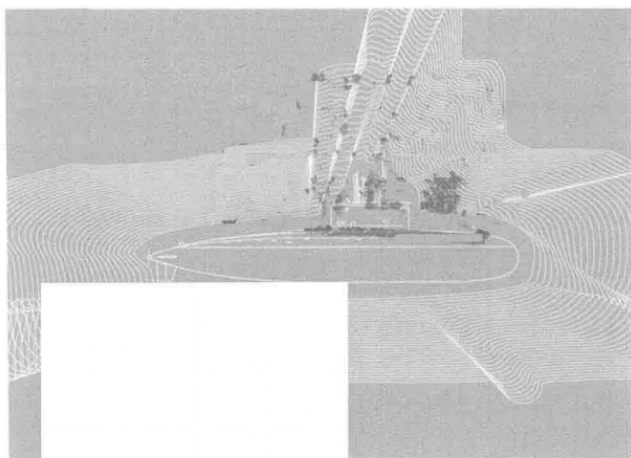
SUBMARINE ACOUSTICAL
ABSORPTIVE COATING
ACOUSTIC TUBE MEASUREMENT METHOD



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

潜艇吸声覆盖层声管 测量方法

陈建平 黄爱根◎著



SUBMARINE ACOUSTICAL
ABSORPTIVE COATING
ACOUSTIC TUBE MEASUREMENT METHOD



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

潜艇吸声覆盖层声管测量方法/陈建平, 黄爱根著. —北京: 经济管理出版社, 2016. 10

ISBN 978-7-5096-4370-9

I. ①潜… II. ①陈… ②黄… III. ①潜艇—吸声测量 IV. ①U674.76

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 086837 号

组稿编辑: 何 蒂

责任编辑: 杜 菲

责任印制: 黄章平

责任校对: 超 凡

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm×1000mm/16

印 张: 5.125

字 数: 113 千字

版 次: 2016 年 10 月第 1 版 2016 年 10 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-4370-9

定 价: 48.00 元

· 版权所有 翻印必究 ·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前 言

100 多年前，人们发明了真正用于作战的潜艇。由于其独有的隐蔽性，潜艇成为海军最具威慑力的水下武器装备。与此同时，人们积极发展反潜技术，由于声波是水中信息长距离传播的唯一有效途径，声纳探测因此成为水下长距离反潜探测的唯一手段。所以，潜艇的隐蔽性主要体现为其应对水下声纳探测的声隐身性能。

声纳反潜探测的方式，包括利用潜艇对声波具有反射声特性的主动声纳探测以及利用潜艇辐射噪声的被动声纳探测。特别是近半个世纪以来，声纳技术和信息处理技术的结合，声纳探测技术快速发展，探测能力大大提高。为保证潜艇的战斗能力和生存能力，现代潜艇对声隐身性能的要求提到了更重要和突出的位置，同时潜艇声隐身能力也面临更加严峻的挑战，对声隐身技术提出了更高的要求。

现代海战中，针对潜艇的声隐身和声纳探测技术，就像古战场上的“矛”和“盾”一样，在不断的相互超越中快速



发展。

正是在这种“矛”和“盾”的对抗发展中，一种被称为阿尔贝里奇（Alberich）的潜艇吸声覆盖层，由德国人最早在“二战”中发明并应用到潜艇上，使潜艇取得了显著的声隐身效果，提高了其在实际海战中的对抗作战能力。这种最早的阿尔贝里奇潜艇吸声覆盖层，实际上是一种内部带有圆柱声腔的橡胶类吸声材料。“二战”结束后，苏联、英国和美国等也先后在借鉴德国阿尔贝里奇的基础上，研究发展了自己的吸声覆盖层。直到现在，吸声覆盖层已发展成为声腔结构更加复杂，形式多样，橡胶材料分类更细，其吸声性能更高、声学功能更全的潜艇声隐身装备系列产品，为各国潜艇声隐身的必需装备之一。

潜艇吸声覆盖层除作为潜艇隐身装备的应用外，在水声工程的其他领域也有十分广泛的应用。如消声水池的吸声衬里（或覆盖层）、声纳换能器、基阵、声纳罩和鱼水雷等都通过应用水声覆盖层来改善其水声性能，以满足不同的水声工程需要。

作为具有重要军事应用价值的潜艇吸声覆盖层技术，包括吸声覆盖层的吸声机理、声学结构设计、覆盖层材料设计以及如何得到衡量其声学性能指标的测试技术等方面。

为了充分利用和发挥吸声覆盖层的功能，在设计、制造和使用时，都离不开对其声学性能参数的测量。通过测量其性能参数来标定吸声覆盖层的声学性能及其使用价值，并通过测量



来统一表征其基本性能参数的量值。吸声覆盖层的声学特性参数不仅用于对吸声覆盖层的选择和评价,而且与装备吸声覆盖层潜艇的技战术指标直接相关。因此,吸声覆盖层的声学性能参数表征及其测量也是吸声覆盖层研究的重要内容。

本书将在介绍潜艇吸声覆盖层功能作用以及衡量这些作用的声学参数基础上,重点说明潜艇吸声覆盖层声学性能指标的声管测量方法,从声管测量的角度,全面系统地论述吸声覆盖层的声学性能参数的表征、声管测量方法、声管测量条件要求以及声管测量不确定度等方面的理论和试验技术问题。

本书内容是笔者多年从事吸声覆盖层声管测量工作的总结,笔者在从事这项工作以及本书的编写过程中,得到了同事和家人的大力支持。领导卢少杰和专家何元安给予了大力支持和悉心指导,黄永强等同事在测量实验工作上给予了帮助,家人给予的支持保障了充分的工作时间和精力。笔者在写作过程中还引用了国内外同行发表的文章、资料和书稿等,在此一并表示衷心的感谢!

由于水平和人力有限,本书难免有疏漏和错误之处,欢迎读者批评指正。

2015年2月6日

目 录

第一章 潜艇吸声覆盖层概述	1
一、水声覆盖层分类	3
二、吸声覆盖层在潜艇上的应用	6
第二章 潜艇吸声覆盖层声学参数	13
一、声学基本量及表示	13
二、吸声覆盖层声学参数概述	23
第三章 潜艇吸声覆盖层测量方法	35
一、潜艇吸声覆盖层测量方法概述	35
二、吸声覆盖层声管测量方法	38
三、声管中的平面波传播条件	40
第四章 脉冲法声管测量技术	47
一、脉冲法声管测量原理	47



二、脉冲法声管测量误差与要求	51
第五章 驻波法声管测量技术	55
一、驻波法声管测量原理	55
二、驻波法声管测量误差与要求	58
第六章 行波法声管测量技术	61
一、行波法声管测量原理	61
二、声管中行波场实现方法	64
三、行波法声管测量误差与要求	67
四、声管测量技术总结	71
第七章 声管测量潜艇吸声覆盖层样品背衬影响	75
一、吸声覆盖层声管测量背衬概述	75
二、声管测量吸声覆盖层可行性分析	78
三、样品背衬对声管测量结果的影响	81
四、吸声覆盖层声管测量背衬选择结论	90
第八章 吸声覆盖层声管测量不确定度评定方法	91
一、测量不确定度的意义和发展	91
二、测量不确定度基本概念	94
三、概率统计基础知识	99
四、测量不确定度评定方法	103



五、测量不确定度建模.....	105
六、声管测量不确定度举例.....	113
附录.....	119
一、船舶行业标准 CB 20113—2014 《声学覆盖层 声学性能参数声管测量方法》	119
二、符号表.....	144
参考文献.....	151

第一章 潜艇吸声覆盖层概述

隐身性是衡量现代潜艇性能的重要标志，由于声波是仅有的能在海洋中远距离传输的信号方式，所以潜艇隐身性能更多地表现为声隐身性能。隐身性能不仅关系到潜艇的战斗力和攻击力，而且与潜艇生命力息息相关。潜艇以其隐蔽性、灵活性、突击性等无可替代的优势，成为各国海军优先发展的重点装备。在潜艇设计和建造过程中，除了追求提高其快速性、大潜深以及武备、动力、电子系统性能外，现代潜艇设计的特点是以不遗余力地追求其声隐身性能为重要目标。

显然，潜艇吸声覆盖层作为潜艇隐身装备，用以改善和提高潜艇声隐身性能，其具有十分重要的军事价值，因而引起人们的广泛重视，特别是近年，潜艇吸声覆盖层研究成为水声材料研究的热门学科。接下来笔者会详细谈谈潜艇吸声覆盖层在各国潜艇上的应用情况。

潜艇吸声覆盖层，是一种敷贴在潜艇艇体结构表面，含有特定声腔结构的黏弹性高分子类声学材料。



潜艇吸声覆盖层能够吸收敌方主动探测声纳发射的声波，使探测声波回声降低，降低潜艇目标强度，从而大大降低敌方主动探测声纳的探测距离。同时，由于吸声覆盖层所具有的黏弹性阻尼特性，它还能够抑制潜艇艇体振动、降低潜艇辐射噪声，从而降低敌方被动探测声纳的探测距离。

目前很多潜艇都将艇上的动力装置及其机械设备安装在浮筏等减振基座上，尽量阻隔机械设备的振动传递到潜艇壳体。尽管如此，仍然有相当大的振动波要传递到艇体，而敷设在艇体表面的声学覆盖层起到了抑制艇体振动的作用（见图 1-1）。

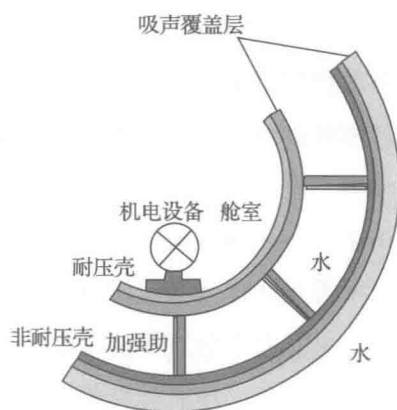


图 1-1 吸声覆盖层在潜艇艇体上敷设示意图



一、水声覆盖层分类

在水声科学研究和应用技术领域,水声覆盖层的应用十分广泛,但归纳起来主要有三个方面的应用领域。一是某些特定水声设备,以改善该设备的声学性能,满足特定声学需要;二是特定的水声测量环境,使该测量环境达到一定的声学条件,如消声水池池壁或水面的吸声尖劈;三是特定的水下目标体,以改变该目标体的声目标特性,如敷设于潜艇表面,以降低潜艇声目标强度的吸声覆盖层。

一般水声设备(如换能器、传感器等)都是由核心的敏感元器件和辅助的结构功能件组成。核心的敏感元器件接收一定形式的外部能量,并将其转换为另一种能量形式输出,如发射换能器中压电陶瓷堆的作用是将接收到的电能转换为声能,并发射到水中去。而辅助的结构功能件对敏感元件的能量转换功能起保障作用,如发射换能器中介于压电陶瓷堆和外部水介质之间的声阻抗匹配过渡层。

在水声学中,水声覆盖层具有五种典型的功能,分别是吸声、反声、透声、折声和去耦(或隔声)。这五种水声覆盖层又可分为匹配和失配两个范畴,吸声、透声和折声覆盖层属于匹配范畴,反声和去耦覆盖层属于失配的范畴。水声覆盖层的分类如图 1-2 所示。



图 1-2 水声覆盖层分类

水声覆盖层要完成其功能，必须满足一定的声学技术要求，水声应用中，对不同的水声覆盖层有不同的要求。如对声纳透声窗（声透镜）的理想要求是其对声波都能 100% 透过，对声反射器的理想要求是其对入射声波能 100% 反射，而对声去耦器的理想要求是其对入射声波的透声要求为 0，对吸声器（吸声覆盖层）的理想要求是其对入射声波的反射要求为 0。

以上对不同用途的水声覆盖层的要求都是理想状态，实际应用中只能是尽可能向理想状态去努力设计和制造，但永远不可能完全达到。如理想的吸声覆盖层其反射系数应当是 0（回声衰减达到最大），而实际上只要达到 20 分贝（dB）的回声衰减的覆盖层即可视为吸声覆盖层。

潜艇吸声覆盖层能够吸收或耗散声能，首先要求覆盖层的特性阻抗同相邻介质（水）的特性阻抗相匹配，使声能无反射地进入覆盖层内部，然后要求覆盖层具有足够的内耗，使进



入覆盖层内部的声波能够有效地衰减掉。

一种良好的吸声覆盖层要尽可能高吸收和低反射。形成高吸收和低反射主要有三种方法：一是覆盖层单位厚度的损耗不太大，但要有足够的厚度，以保证声波在覆盖层中有足够的声程来消耗声能；二是高损耗覆盖层材料与阻抗逐渐过渡的声学结构相结合，如采用尖劈形吸声结构或者分层阻抗渐变的结构；三是共振式吸声结构，如采用含声腔结构的吸声覆盖层。

透声覆盖层能够将入射来的声波无反射、无损耗地通过覆盖层，因此要求是特性阻抗与水匹配、衰减常数小的水声材料。在水声设备中，透声覆盖层一般用作水听器或换能器的包覆层，也可用作声纳或鱼雷导流罩的声窗。

反声覆盖层是声波进入射到覆盖层后，能够无损耗地全部反射回去。覆盖层的特性阻抗与水的特性阻抗严重失配并且衰减常数极小的材料可作为反射覆盖层。实际工程应用中，反声覆盖层的反射系数只能做到不低于 80%。

去耦覆盖层是使声波完全不能通过的覆盖层。形成去耦主要有两个途径：一是要求这种覆盖层的特性阻抗比其所粘贴的结构材料的特性阻抗低得多，使之达到阻抗充分失配；二是要求覆盖层内部有较大的声衰减，这样去耦覆盖层既能反射部分声能，又能吸收部分声能。在水声工程中，去耦覆盖层多用作换能器基阵各基元间的声隔离，以及元器件与底座间的振动隔离及声挡板等。



然而，在缪荣兴等编著的《水声无源材料技术概要》一书中，将制造水声设备所需要的其他材料，如 O 型橡胶圈、阻尼减振材料等对水声设备起到结构保障性的力学材料也归为水声材料，对于这些材料本书不再赘述。

二、吸声覆盖层在潜艇上的应用

第二次世界大战以来，探测潜艇的声纳向低频、大功率方向发展，同时电子技术和信息处理技术也得到迅猛发展，声纳能够探测到潜艇的距离越来越远，其识别和跟踪能力也大大增强。随着声纳探测潜艇的距离增大、探测识别的精度提高，潜艇隐蔽性的特点受到了前所未有的挑战。

正是为应对这种挑战，一种被称为潜艇吸声覆盖层的潜艇隐身装备应运而生。它具有优良的吸声和降噪功能，能够有效降低潜艇声目标强度和辐射噪声。潜艇吸声覆盖层已经成为继潜艇机械设备弹性安装、推进系统优化设计和水动力外形的噪声优化设计之后，又一标志性的潜艇隐身设计建造技术。有军事专家曾预言，潜艇吸声覆盖层必将成为 21 世纪潜艇的必备常规装备，是潜艇成为海洋声学“黑洞”的撒手锏。由此可见，潜艇吸声覆盖层具有非常大的开发潜力和应用空间，对潜艇声隐身性能的提高具有非常重大的作用和意义！

世界上最早把吸声覆盖层应用到潜艇上的国家是德国。早



在第二次世界大战中，德国潜艇为了躲避盟军声纳的搜索探测，就在一艘潜艇外舷敷设了一种多孔橡胶涂层，而后经过实战证实这种橡胶涂层为躲避敌方声纳的搜索探测发挥了意想不到的作用。

“二战”后，美国和苏联等国都投入大量的人力和物力来研发潜艇吸声覆盖层材料。苏联从 1965 年开始逐步将吸声覆盖层敷设到潜艇上，并在 20 多个级别的潜艇上成功应用。图 1-3 是苏联“台风”级潜艇的照片，照片上可以清楚地看见潜艇壳体表面敷设吸声覆盖层的痕迹。



图 1-3 俄罗斯“台风”级潜艇照片

苏联解体后，俄罗斯在苏联基础上对潜艇吸声覆盖层技术进行了发展。目前，俄罗斯在“基洛”级 636、877 常规动力



潜艇上都敷设了高性能的吸声覆盖层，使其具有出色的声隐身性能而受到世界各国的关注。最近，俄罗斯红宝石设计局设计建造的“阿穆尔”级常规潜艇，其壳体表面也敷设有 40mm 厚的“闪电”型吸声覆盖层，使其噪声降到很低而被誉为 21 世纪“海上隐形新杀手”。

英国皇家海军为降低潜艇水下噪声，也不遗余力地研发自己的吸声覆盖层。克莱兰橡胶公司研发生产的弹性橡胶吸声覆盖层，在英国的“敏捷”级核潜艇和“支持”级常规潜艇等不同级别的潜艇上都得到应用。据报道，1987 年英国敷设有吸声覆盖层的“壮丽”号核潜艇（见图 1-4）在北冰洋与美国海军的两艘“鲟鱼”级攻击核潜艇进行模拟对抗演练，在



图 1-4 英国“壮丽”号潜艇照片