

激光声遥感技术

Laser-acoustic Remote Sensing Technique

李荣福 崔桂华 田作喜 桑国明 编著

国防工业出版社

激光声遥感技术

Laser-acoustic Remote Sensing Technique

李荣福 崔桂华 编著
田作喜 桑国明

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

激光声遥感技术/李荣福等编著. —北京:国防工业出版社, 2003. 1

ISBN 7-118-02959-9

I. 激... II. 李... III. 红外遥感: 海洋遥感
IV. P715.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 077964 号

国防工业出版社出版发行
(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 6% 171 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

印数: 1—2000 册 定价: 21.00 元

(本书如有印装错误, 我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革

开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金

评审委员会

国防科技图书出版基金

第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员 陈达植

顾 问 黄 宁

主 任 委 员 刘成海

副 主 任 委 员 王 峰 张涵信 张又栋

秘 书 长 张又栋

副 秘 书 长 彭华良 蔡 镭

委 员 于景元 王小谟 甘茂治 冯允成

(按姓名笔画排序) 刘世参 杨星豪 李德毅 吴有生

何新贵 佟玉民 宋家树 张立同

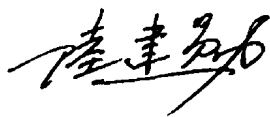
张鸿元 陈火旺 侯正明 常显奇

崔尔杰 韩祖南 舒长胜

序 言

激光声遥感技术是 20 世纪 80 年代才发展的一项新技术,由于这项技术可以从空中利用激光在水中产生声源并获取其声回波信号,从而达到从空中对水下目标进行声学探测的目的,因此它是一个声、光联合探测的新的交叉学科领域。该项技术美、俄等国专家都给予很大关注并进行了多方面的研究。本书作者在国内学者支持下,从 20 世纪 80 年代后期就进行了跟踪研究并进行了许多理论分析和做了大量的实验,同时独立开展了利用激光探测水中微弱的声回波信号方面的研究并取得一定的理论和实验结果。作者将多年从事这方面研究、实验中积累下来的知识进行整理,系统地介绍了激光发声和声遥感及利用激光检测水中声回波信号的原理和数学分析,本书还提供了实验、分析结果的大量图表曲线,因此内容相当丰富。由于这项跨学科的新领域完全是一项前沿探索性的课题,尤其在这一学术领域至今国内外还没有相应的书籍出版,这本书无疑对后继者进入该领域会是十分宝贵的。

当然,新的学术领域的开拓和探索总是在多种可能性中逐步成熟起来的,就当前国内外水平而言,该项技术距离实用可能还有若干距离,理论和实验还有待进一步完善和提高,因此就希望有更多的人参与进来,正因为如此,由我国学者首先出版这本专著,就更加具有其重要意义和价值。



前 言

激光声遥感水下目标是 20 世纪 80 年代才出现的新技术,它是激光技术同声学、电子学相结合发展起来的新的边缘科学。由于它利用红外脉冲激光与自由水表面相互作用产生的声脉冲作为水下声源,又在空中利用传感器接收水下目标反射或散射的声信号,为航空遥感水下目标提供了一条新的技术途径。显然,激光声遥感具有很大的机动性、灵活性和快速性。

本书结合我们自己的科研实践,系统地介绍了激光声遥感的基本理论和技术。第一章讲述了激光声遥感的由来和发展;第二章讨论了激光与水相互作用产生水中声波的热膨胀、汽化和介电击穿三种机制以及这三种机制的光声转换效率;第三章介绍了激光声遥感使用的脉冲 TEA CO_2 激光器;第四章介绍了水中激光声脉冲的特性及其传播衰减规律;第五章和第六章介绍了激光声遥感使用的声传感器和数字多波束接收机。为便于深入理解,在讲解具体设备的同时,相应介绍了设计这些设备的理论基础。第七章详尽地叙述了激光声遥测水深、水下目标和冰厚的实验结果,并就冰厚探测问题,将声呐方程推广应用到水与空气两种介质,对机载应用做了理论评估。第八章介绍了激光检测水下声波的原理,引用了大量实验数据,目的在于抛砖引玉,希望有志于此项研究的同仁,共同开创未来。

在激光声遥感技术研究中,大连化学物理研究所的孙龙研究员、武汉华中理工大学的刘扬满研究员、西南技术物理研究所的杨大林研究员参加了 TEA CO_2 激光器的研制工作;北京大学的栾桂冬教授和张金铎教授参加了多波束接收声阵的研制工作;杭州应

用声学研究所的俞德飞研究员、蒋俊培高级工程师和刘祖干高级工程师等人参加了数字多波束接收机的研制工作；烟台大学的江荣熙教授、孙金祚教授等参加了激光检测水下声波的研究工作。他们突出的工作成绩和提供的许多有价值的研究资料，对激光声遥感技术研究的深入发展和本书的编著出版，都起到了重要作用，在此表示衷心的感谢。

希望本书对我国激光声遥感技术的发展能起到推动作用。但由于作者的水平有限，加之激光声遥感又是一门全新的科学技术，书中难免存在缺点和错误，恳请读者批评指正。

作 者

内 容 简 介

本书系统地介绍了激光声遥感水下目标的基本原理和方法,并详细阐述了红外脉冲激光与水相互作用在水中产生声的理论、水中激光声脉冲的特性和传播衰减规律以及激光声遥感应用实验设备和实验结果等。

本书可供从事海洋开发、水下目标探测等领域的有关科学研究和工程技术人员及高等院校相关专业的教师、研究生、高年级学生参考。

The fundamentals for remote sensing of underwater targets using laser-acoustic technique are introduced systematically in this book. The theories of generating sound in water by the interaction of infrared pulsed laser with water are described. The characteristics of optoacoustic pulse in water and its transmission loss are given. The apparatus used in the laser-acoustic remote sensing experiments and the results are provided and discussed in details.

This book might be offered to the persons who are undertaking relevant research and work in the field of ocean development and underwater target detection and to the teachers and graduated or senior students who are dealing with corresponding speciality.

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 激光声遥感基本原理	1
1.2 激光声遥感的由来和发展	3
1.3 其他水下目标遥感技术	4
1.3.1 声呐浮标	4
1.3.2 航空磁探仪	5
1.3.3 蓝绿光遥感探测系统	6
1.3.4 吊放声呐	8
1.4 激光声遥感的应用	9
第二章 激光致声基本原理	12
2.1 激光致声的热膨胀机制	12
2.2 激光致声的汽化机制	19
2.3 激光致声的介电击穿机制	23
2.3.1 激光与等离子体的相互作用	23
2.3.2 介电击穿水中冲击波的压力	33
2.4 光声能量转换效率	36
2.4.1 热膨胀的光声转换效率	37
2.4.2 汽化机制光声转换效率	38
第三章 脉冲 TEA CO ₂ 激光器	40
3.1 横向大气压放电的激励	41
3.1.1 TEA CO ₂ 激光器的非自持放电激励	41
3.1.2 TEA CO ₂ 激光器的自持放电激励	42
3.2 对 TEA CO ₂ 激光器工作物质的电泵浦	46

3.3	为 TEA CO ₂ 激光器提供高光束质量的光谐振腔	51
3.4	高能脉冲 TEA CO ₂ 激光器	54
3.4.1	HE100 型脉冲 TEA CO ₂ 激光器技术指标	54
3.4.2	HE100 型脉冲 TEA CO ₂ 激光器运转参数	55
3.4.3	HE100 型脉冲 TEA CO ₂ 激光器的构成	55
第四章	水中激光声脉冲特性及其传输损失	62
4.1	水中激光声脉冲的特性	62
4.1.1	水中声脉冲的声源级	62
4.1.2	水中声脉冲的频谱	64
4.1.3	水中声脉冲的方向性	64
4.2	声脉冲的传输损失	67
4.2.1	声脉冲在水中的传输损失	67
4.2.2	水-空气界面损失	70
4.2.3	声脉冲在空气中的传输损失	72
4.2.4	海底反射损失	74
第五章	空中使用的声传感器	77
5.1	单波束声传感器	77
5.2	八元线列多波束声接收阵	79
5.2.1	线列阵波束垂直宽度	81
5.2.2	线列阵波束水平宽度	82
5.2.3	八元线列阵方向性随方位角的变化	85
5.2.4	八元线列声阵的空间增益	86
5.2.5	基元换能器的设计	87
第六章	数字多波束信号处理技术	98
6.1	多波束能量接收基本原理	98
6.2	预成多波束	104
6.3	数字多波束信号处理机	108
6.3.1	前置预处理分机	108
6.3.2	高速信号处理分机	115

6.3.3 显控分机	119
6.3.4 PC 机接口适配电路	125
6.3.5 多波束信号处理软件设计	125
6.3.6 显控分机的程序设计	127
第七章 激光声遥感实验	131
7.1 海水深度遥感探测	131
7.1.1 HICKMAN 的实验结果	131
7.1.2 收发同置海深遥感探测	134
7.2 水下目标的遥感探测	137
7.2.1 水雷的遥感探测	137
7.2.2 水下铁板的遥感探测	138
7.3 多波束声阵接收-水下目标方位距离的实时 遥感探测	145
7.4 冰厚的遥感探测	148
7.4.1 激光声遥测冰厚系统的构成	149
7.4.2 冰内声压级的测量	151
7.4.3 冰厚的测量	153
7.4.4 冰内声脉冲的功率谱密度	156
7.4.5 冰厚测量的机载激光声遥感系统	156
第八章 激光检测水下声波	163
8.1 激光检测水下声波的基本原理	163
8.2 大角度反射光接收	166
8.2.1 声源靠近接收点时激光检测水下声波实验	166
8.2.2 声源远离接收点时激光检测水下声波实验	173
8.3 小角度反射光接收	177
8.3.1 收发同置的光检测水下声信号实验装置	177
8.3.2 实验结果	178
8.3.3 最小可检测声信号	180
8.4 用 3D-A 激光系统检测水下声波	182
8.4.1 室内水池实验	182

8.4.2 室外水池实验	187
8.5 四束激光遥感水下目标声学定位	192
8.5.1 定位原理	192
8.5.2 波浪影响的修正	195
8.5.3 相关时延估计	198
8.5.4 目标位置的计算机仿真	198
参考文献	199

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Fundamentals of laser-acoustic remote sensing	1
1.2 Origin and development of laser-acoustic remote sensing	3
1.3 Some other methods for remote sensing of underwater targets	4
1.3.1 Sonobuoy	4
1.3.2 Airborne magnetic anomaly detector	5
1.3.3 Blue-green light remote sensing system	6
1.3.4 Dipping sonar	8
1.4 Applications of laser-acoustic remote sensing	9
Chapter 2 Fundamentals of sound generated by laser radiation	12
2.1 Thermoelastic mechanism	12
2.2 Vaporization mechanism	19
2.3 Dielectric breakdown mechanism	23
2.3.1 Interaction between laser and plasma	23
2.3.2 Pressure produced by shock due to dielectric breakdown in water	33
2.4 Efficiency of converting optical energy into acoustic energy	36
2.4.1 Efficiency of optoacoustic conversion due to thermoelastic mechanism	37
2.4.2 Efficiency of optoacoustic conversion due to	

vaporization mechanism	38
Chapter 3 Pulsed TEA CO₂ laser	40
3.1 Means of transversely excited atmospheric pressure discharge	41
3.1.1 Excitation of non-self-sustained discharge for TEA CO ₂ laser	41
3.1.2 Excitation of self-sustained discharge for TEA CO ₂ laser	42
3.2 Electrical pumping the active medium of a photo-ionization TEA CO ₂ laser	46
3.3 Optical resonator providing high beam quality in TEA CO ₂ laser	51
3.4 Model HE100 pulsed TEA CO ₂ laser	54
3.4.1 Technical specifications about model HE 100 pulsed TEA CO ₂ laser	54
3.4.2 Operation parameters of model HE 100 pulsed TEA CO ₂ laser	55
3.4.3 Composition of model HE100 pulsed TEA CO ₂ laser	55
Chapter 4 Characteristics of optoacoustic pulse in water and it's transmission loss	62
4.1 Characteristics of optoacoustic pulse in water	62
4.1.1 Sound-source level of optoacoustic pulse in water	62
4.1.2 Spectrum of optoacoustic pulse in water	64
4.1.3 Directivity of optoacoustic pulse in water	64
4.2 Transmission loss of optoacoustic pulse	67
4.2.1 Transmission loss in water	67
4.2.2 Transmission loss penetrating the interface between water and air	70
4.2.3 Transmission loss in air	72
4.2.4 Loss due to sea bottom reflection	74
Chapter 5 Acoustic sensor used in air	77

5.1	Single beam acoustic sensor	77
5.2	Multibeam acoustic receiving line array with 8 elements spaced equally	79
5.2.1	Vertical beam width of the line array	81
5.2.2	Horizontal beam width of the line array	82
5.2.3	Directivity variation of the line array with azimuth change	85
5.2.4	Line array spacial gain	86
5.2.5	Transducer element design	87
Chapter 6	Digital multibeam signal processing	98
6.1	Basic principle of multibeam receiving	98
6.2	Preformming multibeam	104
6.3	Digital multibeam signal processor	108
6.3.1	Pretreatment unit	108
6.3.2	High speed signal processor unit	115
6.3.3	Display and control unit	119
6.3.4	Adapter circuit of interface between a PC and the sigal processor	125
6.3.5	Software design of the signal processor	125
6.3.6	Programme design of display and control unit	127
Chapter 7	Laser-acoustic remote sensing experiments	131
7.1	Remote sensing of water depth	131
7.1.1	HICKMAN's results	131
7.1.2	Remote sensing of seawater depth with a receiver closed to a transmitter	134
7.2	Remote sensing of underwater targets	137
7.2.1	Remote sensing of mines	137
7.2.2	Remote sensing of an underwater iron-plate	138
7.3	Multibeam acoustic array receiving-real time remote detecting of underwater targets' bearing and range	145
7.4	Ice-thick remote sensing detection	148