

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代海军兵器技术丛书

反水雷物理场对抗技术

刘忠乐 文无敌 著

21

兵器工业出版社

“十二五”国家重点出版物出版规划项目

现代海军兵器技术丛书

反水雷物理场对抗技术

刘忠乐 文无敌 著

兵器工业出版社

内容简介

本书在介绍水雷的组成、分类及其引信工作原理,反水雷武器及其分类、基本原理及反水雷物理场模拟对抗方法的基础上分别论述了磁场、声场、水压场及电场模拟对抗技术。磁场模拟对抗技术介绍了舰船磁场与扫雷磁场建模方法,重点论述了目标模拟式电磁扫雷具的磁矩设定方法及扫雷模拟舰船磁场的特征提取与分类方法;声场模拟对抗技术介绍了气枪式、活塞式及换能器声源等几种典型扫雷声源的建模方法;水压场模拟对抗技术介绍了舰船水压场的产生机理及特征,并对近底拖曳拖体的水压场进行了建模;电场模拟对抗技术提出了对扫雷具模拟电场的要求,并对海水中稳恒电流的电场进行了建模,提出了舰船电场的电极阵列模拟方法。

本书可作为从事水中兵器对抗的工程技术人员参考用书,也可作为高等院校兵器科学与技术学科相关专业高年级本科生、研究生的专业教材。

图书在版编目(CIP)数据

反水雷物理场对抗技术 / 刘忠乐, 文无敌著. -- 北京: 兵器工业出版社, 2015. 12
(现代海军兵器技术丛书 / 林春生, 滕克难主编)
“十二五”国家重点出版物出版规划项目
ISBN 978-7-5181-0181-8

I. ①反… II. ①刘… ②文… III. ①水雷—军事技术 IV. ①E925.21

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第307084号

出版发行: 兵器工业出版社

发行电话: 010-68962596, 68962591

邮 编: 100089

社 址: 北京市海淀区车道沟10号

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京圣夫亚美印刷有限公司

版 次: 2015年12月第1版第1次印刷

责任编辑: 周琦 陈红梅

封面设计: 正红旗下

责任校对: 郭芳

责任印制: 王京华

开 本: 710×1000 1/16

印 张: 12.75

字 数: 207千字

定 价: 58.00元

(版权所有 翻印必究 印装有误 负责调换)

现代海军兵器技术丛书

编审委员会

主任：程锦房

副主任：林春生 滕克难 王德石

委员（按姓氏笔画排序）：

田福庆 付强 齐欢 许诚 严卫生

李国林 吴茂林 余湖清 张晓晖 张效民

张静远 陈川 周穗华 郑学合 赵修平

黄俊斌 龚沈光 颜冰

总主编：林春生 滕克难

丛书序

海军肩负着保卫国家海洋领土完整、海洋运输线安全和国家海洋权益的重大使命，先进的海军兵器是海军履行使命的基本保证。新中国建立以后，伴随着我国海军部队的发展和壮大，海军兵器从无到有，在科学原理、设计理论、制造技术、保障方法等方面得到了全方位的发展。我国海军兵器技术的发展经历了二十世纪五十、六十年代的全面仿制阶段和七十、八十年代的原理模仿与技术创新阶段，从九十年代起，进入了全面自主设计阶段，使得我国海军在役兵器的主体具备了完全的知识产权，海军兵器技术理论也逐步得到发展和完善。特别是最近十几年来，随着国家海洋权益意识的不断提高和海军转型改革的不断深入，海军兵器得到了更加迅速的发展，大量新型高技术兵器已经装备部队或者即将装备部队；不少新装备采用了新概念、新技术、新材料、新能源，海军兵器正朝着智能化、信息化、精确打击的目标发展。

随着海军大批高新技术兵器装备部队，以及兵器学科理论的发展与完善，迫切需要一套全面反映海军兵器学科基础理论、设计制造技术、保障方法的丛书，一方面方便广大海军官兵系统掌握现代海军兵器的基础理论、技术原理和使用维护方法，以便科学合理地运用兵器、充分发挥高新技术兵器的作战效能；另一方面，对海军兵器学科理论的发展做一个比较全面系统的归纳和总结，以促进海军兵器学科理论和技术方法的创新。为此，我们组织编撰了《现代海军兵器技术丛书》。该丛书以相关专业教学、科研人员近十年来的学术积累为基础，同时广泛收集国内相关技术领域的代表性研究成果，着重论述新兴技术对海军装备的影响，结合海军装备技术

发展热点，全面阐述海军兵器的新理论、新技术、新发展；丛书内容涉及舰炮、鱼雷与反潜武器、水雷与反水雷、导弹等多种海军兵器；丛书编撰注重学科理论和技术原理的阐述，同时兼顾内容的系统性，力争使丛书兼备较高的学术水平和较好的实用性。

本丛书可供海军兵器论证、设计、制造、使用和维护领域的技术人员和管理人员阅读参考，也可用作相关高等院校专业师生的教学参考书。

《现代海军兵器技术丛书》编委会

2015年2月

前 言

水雷战包括布雷作战和反水雷作战，是海军的重要作战样式之一。水雷战的成败对战争的进程往往有着重大影响。

水雷是一种效费比很高的水中兵器，自问世以来，在海战中显示出相当重要的作用。随着科学技术的进步与发展，水雷武器的性能不断提高，水雷对水面舰艇和潜艇的威胁进一步增大，反水雷技术与反水雷装备的研究、开发和使用越来越引起世界各国海军的重视。因此，水雷及其对抗技术、对抗装备已成为现代海军武器对抗技术和对抗武器装备的一个重要组成部分。

反水雷技术是与水雷对抗技术的统称，或专指用于探测、消灭水雷或使水雷失效的技术，主要包括舰艇的反水雷自卫技术、扫雷技术、猎雷（探雷、灭雷）技术、炸雷技术和破雷技术等。

反水雷技术出现于 19 世纪末，第一次世界大战期间出现了各种舰用接触扫雷技术和反水雷自卫技术，第二次世界大战期间出现了各种非接触扫雷技术，战后又出现了直升机扫雷技术和遥控扫雷技术等。从 20 世纪 60 年代开始，又发展了能探测、识别和消灭水雷的猎雷（探雷、灭雷）技术。许多国家海军在重点发展猎雷技术的同时，也非常重视研究新型扫雷技术，以提高扫雷的可靠性、安全性、作业深度和作业效率等。随着水雷技术的迅猛发展，反水雷技术的难度越来越大，成本越来越高，迫使其在原来单一的专业反水雷技术基础上又增加了建制式反水雷技术和应急反水雷技术，以便有效地与水雷相对抗。

从反水雷技术与反水雷武器的发展来看，与非触发引信水雷相对抗的非接触扫雷技术一直是反水雷技术发展中最具特色的一个热点。非接触扫雷技术是靠模拟舰船物理场诱爆非触发水雷的扫雷技术，一般包括物理场产生技术、物理场控制技术和动力技术等。物理场产生技术主要包括扫雷磁场产生技术、扫雷声场产生技术、扫雷水压场产生技术、扫雷电场产生技术及联合扫雷技术等。

非接触扫雷技术的核心是相关的物理场模拟对抗技术。几十年来，磁

场、声场的模拟技术发展得相对丰富与完善，发展了各种各样的磁场、声场模拟对抗方法。近十几年来，国内外出现了多种以模拟舰船目标物理场为目的的目标模拟式扫雷具，如目标模拟式电磁扫雷具、宽频带声扫雷具、多电极阵列式电场扫雷具等。同时，也发展了模拟舰船水压场以对抗水压引信水雷的水压扫雷技术。但是，新型物理场模拟时相关的物理场模型还不够完善，用于模拟舰船磁场的目标模拟式电磁扫雷具的磁矩设定方法，以及对舰船磁场进行目标模拟时的目标分类方法均存在较大的空白。为此，本书以作者近十几年来在反水雷物理场模拟对抗方面的科研与工程实践及学术成果为基础，参考了国内外同行的部分成果，对反水雷物理场模拟对抗方法进行了系统论述，并以物理场模拟时的建模和综合模拟方法为研究重点，对其进行了详细论述。全书力求理论与方法的新颖性，注重理论性与实用性的有机结合，是对目前国内反水雷物理场对抗理论与对抗技术的有益探索。

全书共分5章。第1章绪论，主要介绍水雷的组成、分类及其引信工作原理，以及反水雷武器及其分类、基本原理，并重点阐述反水雷物理场模拟对抗方法。第2章磁场模拟对抗技术，建立了舰船磁场与扫雷磁场的基本数学模型，重点论述目标模拟式电磁扫雷具的磁矩设定方法及扫雷模拟舰船磁场的特征提取与分类方法。第3章声场模拟对抗技术，介绍舰船声场及对声扫雷具的基本要求，建立了气枪式、活塞式及换能器声源等几种典型扫雷声源的数学模型。第4章水压场模拟对抗技术，介绍舰船水压场的产生机理及特征，并建立了近底拖曳拖体的水压场数学模型。第5章电场模拟对抗技术，以舰船电场产生机理及其特征分析为基础，论述了舰船电场的传播与水雷电场引信，从而提出了对扫雷具模拟电场的基本要求，然后建立了海水中稳恒电流电场的理论模型，并提出了舰船电场的电极阵列模拟方法。

本书撰写分工：第1、4、5章由刘忠乐撰写，第2章由刘忠乐、文无敌撰写，第3章由文无敌撰写，全书由刘忠乐统稿。中国船舶重工集团第710研究所赵治平研究员认真审阅了本书，提出了宝贵建议和修改意见，在此表示衷心的感谢。

受作者学术水平的限制，本书难免存在缺陷和不足，欢迎读者批评指正。

作者

2015年11月于武汉

目 录

第1章 绪论	1
1.1 水雷与反水雷武器	1
1.1.1 水雷武器的发展	1
1.1.2 反水雷武器的发展	3
1.2 水雷及其引信技术	11
1.2.1 水雷的基本组成及分类	11
1.2.2 水雷的组成及工作原理	14
1.3 反水雷及物理场对抗技术	18
1.3.1 反水雷技术与反水雷武器	18
1.3.2 反水雷物理场对抗技术	26
第2章 磁场模拟对抗技术	37
2.1 舰船磁场与扫雷磁场建模	38
2.1.1 舰船磁场建模	38
2.1.2 扫雷具磁场建模	42
2.2 目标模拟式电磁扫雷具的磁矩设定方法	51
2.2.1 磁矩设定的最小二乘求解方法	51
2.2.2 磁矩设定的遗传算法求解方法	55
2.2.3 某磁体故障条件下的磁矩设定方法	59
2.2.4 混合磁源目标模拟式电磁扫雷具磁矩设定方法	65
2.3 扫雷模拟舰船磁场目标的特征提取与分类	69
2.3.1 扫雷模拟舰船磁场目标的一般特征	70
2.3.2 运用神经网络对舰船磁场数据分类	72
2.3.3 运用模糊聚类对舰船磁场数据分类	75
第3章 声场模拟对抗技术	93
3.1 舰船声场及对声扫雷具的基本要求	93

3.1.1	舰船声场产生机理	93
3.1.2	舰船噪声的特征	95
3.1.3	舰船噪声的分布结构	97
3.1.4	对声扫雷具的基本要求	98
3.2	典型声源的建模	100
3.2.1	气枪式扫雷声源建模	100
3.2.2	活塞式扫雷声源建模	104
3.2.3	压电陶瓷式扫雷声源建模	108
第4章	水压场模拟对抗技术	110
4.1	舰船水压场与水压扫雷技术	110
4.1.1	舰船水压场产生机理及特征	110
4.1.2	水压扫雷技术研究	112
4.2	近底拖曳拖体的水压场建模	114
4.2.1	拖体水压场流体力学模型	114
4.2.2	拖体水压场计算	120
第5章	电场模拟对抗技术	132
5.1	舰船电场与水雷电场引信	132
5.1.1	舰船电场研究概述	132
5.1.2	舰船电场产生机理及其特征	134
5.1.3	舰船电场的传播与水雷电场引信	141
5.2	海水中稳恒电流电场	154
5.2.1	海水中稳恒电流电场的基本假设	154
5.2.2	海水中稳恒电流电场的点电极计算模型	157
5.2.3	海水中稳恒电流电场的线电极计算模型	165
5.2.4	海水中稳恒电流电场的分布	170
5.3	舰船电场的电极阵列模拟技术	177
5.3.1	舰船水下静电场的建模方法概述	177
5.3.2	舰船电场的电偶极子阵列建模方法	178
5.3.3	舰船电场的电极阵列模拟方法	179
5.3.4	对电极阵列模拟方法的探讨	187
参考文献	188
索引	191

第1章 绪论

水雷战包括布雷作战和反水雷作战，是海军的重要作战样式之一。通常在战术、战役和战略层面上配合封锁与反封锁、保交与破交、登陆与抗登陆等作战行动实施。水雷战的成败对战争的进程往往有着重大影响。

水雷武器及其技术与反水雷武器及其技术是相伴而生的矛盾的两个方面，随着军事斗争需求与科学技术的发展而不断地进步与发展。

1.1 水雷与反水雷武器

1.1.1 水雷武器的发展

水雷是一种效费比很高的水中兵器，自问世以来，在海战中显示出相当重要的作用。水雷不仅在抗登陆、封锁作战，切断海上交通线，扼守海上要冲时可直接击沉敌方舰船，而且还可在精神和心理上给敌人造成极大的压力和恐惧，使敌人不敢超越“雷池”，迫使敌方动用大量的兵力和物力进行反水雷作战。

水雷是一种历史较长的海军兵器，从19世纪初就开始在海战中大量使用，在两次世界大战中均发挥过重要作用。在战后的局部战争中，从朝鲜战争、越南战争，到20世纪90年代初的“沙漠风暴行动”，都表明水雷兵器是一种威力强大、大量使用的兵器。

中国明代首先发明水雷。明嘉靖二十八年(1549年)编纂的《武编》就有记载；明万历十八年(1590年)所著《正略》一书载有以燃香为定时引信的漂雷“水底龙王炮”；明万历二十七年(1599年)的《火攻答问》一书中载有以绳索为碰线的“水底鸣雷”。1585年，荷兰使用小船填满火药，用定时引信引爆，炸掉一座封锁安特卫普的西班牙浮桥。1769年，俄军在俄

土战争中用漂雷炸毁了土耳其通向杜那依的浮桥。1777年，美国用小桶装火药制成漂雷攻击英国舰船，史称“小桶战争”。1840年，俄国发明电液触发锚雷。1904~1905年，日俄战争中开始大量使用电液触发自动定深锚雷。

第一次世界大战中，交战双方共布设约31万枚水雷，主要是触发锚雷，击沉和毁伤舰船近千艘。

第二次世界大战中，交战双方共布设约80万枚水雷，开始大量使用非触发沉底雷，主要是磁、声水雷，战争后期出现了水压水雷，击沉和毁伤舰船2700余艘。其中1945年美国对日本发动的代号为“饥饿战争”的攻势布雷作战，布雷12000余枚，不仅沉伤日本舰船670艘，更切断了日本赖以生存的海上交通线，使日本工业生产减少2/3，加速了日本法西斯的灭亡。

第二次世界大战后，沿海国家在局部战争中多次使用水雷作战。1950年朝鲜战争中，朝鲜人民军在元山港布设的3000余枚水雷，成功地迟滞了联合国军的登陆行动，保证了部队的后撤；1972年越南战争中，美国在越南北方布雷11000余枚，成功地切断了越南的海上补给线，迫使越南在《巴黎和约》上签字；1975年柬埔寨战争中，民主柬埔寨部队在湄公河布设30枚水雷，取得了击沉10艘运输船、切断了金边当局的补给线的战果；1991年海湾战争中，伊拉克在海湾水域布设的1300余枚水雷，不仅击伤多国部队的8艘战舰，还有效阻止了多国部队的登陆行动，保卫了其濒海侧翼。这些布雷行动都实现了战役甚至战略目标。科学技术的进步带动了水雷技术的发展。20世纪50年代，出现火箭上浮水雷和自航水雷；70年代，出现了自导水雷；80年代，出现由微机控制的组合引信沉底雷。

近20多年来，水雷发展很快，涌现出多种声、磁和水压信号联合引信水雷，水雷的库存量也不断增加。到20世纪80年代初，各国开始注重水雷的性能提高而不再单纯追求水雷的数量。随着微电子技术的飞速发展，相继出现了各种微电脑控制的组合引信水雷及大深度、大作用半径水雷。

当今，局部战争已成为世界的主要战争形态，但水雷武器的使用从未停止过。水雷武器不仅是大国、强国海军的重要武器，更是小国、弱国海

军有效的进攻和积极防御武器,是以弱制强的有效武器。

1.1.2 反水雷武器的发展

随着科学技术的进步与发展,水雷武器的性能不断提高,水雷对水面舰艇和潜艇的威胁进一步增大,反水雷技术与反水雷装备的研究、开发和使用时越来越引起世界各国海军的重视。

反水雷技术是与水雷对抗技术的统称,或专指用于探测、消灭水雷或使水雷失效的技术,主要包括舰艇的反水雷自卫技术、扫雷技术、猎雷(探雷、灭雷)技术、炸雷技术和破雷技术等。

反水雷技术出现于19世纪末,第一次世界大战期间出现了各种舰用接触扫雷技术和反水雷自卫技术,第二次世界大战期间出现了各种非接触扫雷技术,战后又出现了直升机扫雷技术和遥控扫雷技术等,从20世纪60年代开始,又发展了能探测、识别和消灭水雷的猎雷(探雷、灭雷)技术。许多国家海军在重点发展猎雷技术的同时,也非常重视研究新型扫雷技术,以提高扫雷的可靠性、安全性、作业深度和作业效率等。随着水雷技术的迅猛发展,反水雷技术的难度越来越大,成本越来越高,迫使其在原来单一的专业反水雷技术基础上又增加了建制式反水雷技术和应急反水雷技术,以便有效地与水雷相对抗。

1. 反水雷装备、技术发展简史

(1)早期的反水雷武器。早期,为对抗漂雷,出现了网式扫雷具;为对抗锚雷(主要是触发型),出现了舰艇的反水雷自卫具和截割扫雷具。

网式扫雷具是利用拖网捕获漂雷和浮雷的接触扫雷具。拖网用钢索编成带状网幅,连在带浮体的标杆上,标杆下端连有重锤,以使网幅在水中保持直立状态。扫雷时,由双艇各拖网的一端,在水中展开一定宽度进行扫雷。扫雷宽度为40~100m,扫雷深度在2m以内,拖带舰艇扫雷航速为3~7kn。捕到水雷后将其拖到指定地点进行处理。此种扫雷具随着漂雷的禁用而消失。

反水雷自卫具是舰艇个体反锚雷自卫武器,亦称舰艇反锚雷自卫具。通常由战斗舰艇使用,装在舰首,在强渡雷区时用来排开锚雷以保证本舰的航行安全,或割断锚雷雷索使其雷体上浮以便消灭。反水雷自卫具包括链式自卫具和破雷自卫具两种。链式自卫具将锚雷从舰首排开到安全距

离之外，破雷自卫具在排开锚雷后割断其雷索。反水雷自卫具出现于第一次世界大战中，由于反水雷自卫具不能保证舰艇在有非触发水雷的雷区航行时的安全，战后逐步被淘汰。

截割扫雷具是利用割刀截断雷索或雷链，以扫除锚雷和护雷具的接触扫雷具。由双舰或单舰拖曳，包括舰载设备和拖曳部分。拖曳部分由扫雷部分、展开系统和定深系统组成。扫雷部分包括扫索和割刀。割刀沿展开宽度方向等间隔地装在扫索上。扫雷时，被扫到的锚雷及护雷具的雷索或雷链沿扫索滑向割刀而被截断，雷体上浮至水面，由扫雷舰或保障舰艇用小口径舰炮或炸药包消灭。

(2)“二战”时期及战后的反水雷武器。“二战”时期是反水雷发展极为迅速的时期，此间，反水雷历经了从简单到复杂的发展，出现了各种类型的非接触扫雷具。战后，这些反水雷技术得到进一步发展。

1)简单的反水雷技术。最初非触发水雷只是为打击舰船而设计的，声、磁信号可诱爆水雷。

为对抗这种非触发水雷，出现了能够产生磁场和声场的磁性扫雷具和音响扫雷具。相应地，舰船为了对抗这种非触发水雷，纷纷采用了舰船的反水雷自卫技术。与早期的舰艇反水雷自卫具不同，舰艇一般采取消磁、消声等措施来减小自身的磁场与声场。当然，后来由于水压引信水雷的出现，舰艇虽不能消除自身的水压场，但也采取了以安全航速通过雷区的措施来减小被水雷打击的概率。

磁扫雷具是模拟舰船磁场以诱爆磁性水雷的非接触扫雷具。磁性扫雷具利用永久磁铁产生的磁场扫雷。磁体是硬磁材料制成的组合棒、管、索等，经磁化后保持有较大剩磁，拖曳于舰后一定距离和一定深度上进行扫雷。

音响扫雷具是用发声器产生声频声场以诱爆音响水雷的非接触扫雷具。其声源为有数个辐射膜板的水密壳体，利用电动击锤、离心环等机械激振机构撞击膜板，使其产生复杂的机械振动辐射声波，频率主要分布在声频频段。1939年底，德国首先制造使用声水雷，英国随后研制出机械式噪声发生器来扫除声水雷。德国曾使用过 KKG 型爆破式声扫雷具，即按一定时间间隔投下发音弹以扫除声水雷。

2)扫雷技术的复杂化。为对抗扫雷，水雷的非触发引信在抗自然干扰

与抗扫方面有了很大改进,尤其是采用了多种方法提高抗扫性能。这时的扫雷具,必须设法满足水雷引信的要求,才能将其引爆。

由于非触发引信水雷的改进,出现了能设定磁场、声场变化规律的磁、声扫雷具。这时的电磁扫雷具、声扫雷具,其工作制度必须完全按照水雷引信工作制度的需要来设定,即所谓典型的“按水雷设定”方式扫雷。

电磁扫雷具是靠通电产生磁场以诱爆磁性水雷的磁扫雷具。按产生磁场的方式,电磁扫雷具分为螺线管式电磁扫雷具、环圈式电磁扫雷具和开口(电极)式电磁扫雷具。电磁扫雷具通常由扫雷部分、发电机组和控制装置构成,其中,拖曳式电磁扫雷具还包括拖带定深部分。扫雷部分为螺线管或扫雷电缆,用以产生扫雷磁场。发电机组提供电磁扫雷具所需电能,功率较大,有的可达700kW以上。控制装置控制扫雷电流的方向、大小、波形与通断时间,使磁场变化符合诱爆不同工作制度的磁性水雷的需要。

第二次世界大战中,为扫除德国的磁性水雷,英国研制了各种装置,包括用巨型电磁铁、永磁钢棒进行拖曳扫雷,还曾采用装巨大环形线圈的轰炸机低空飞行扫雷。之后研制出LL式直开口电磁扫雷具,并被广泛使用。战后,美国研制成直升机使用的MK-105型直开口电磁扫雷具。中国和德国发展了艇具合一式电磁扫雷具,德国与芬兰还研制了安全性较好的三电极电磁扫雷具。20世纪70年代,美国研制出直升机拖带的MK-104型空化式声扫雷具。80年代,中国研制出气枪式次声扫雷具。

(3) 技术进步期的反水雷。20世纪60年代以前,水雷引信给扫雷增加难度,还没有“聪明”到能够识别舰船与扫雷具。这时的水雷主要在其引信上大做文章,开发新型物理场引信,如水压场引信、电场引信、地震波场引信等。这些新型水雷引信的出现,再加上各种抗扫工作制度的设置,使扫雷作战异常困难,费时费力。这样,迫使反水雷去寻求不同于扫雷技术的其他技术途径,于是出现了猎雷技术和炸雷技术,以及紧急情况下通过雷区的破雷技术(或破雷舰)等。

2. 反水雷技术的发展

自扫雷、猎雷、炸雷和破雷技术出现后,各种技术手段相继发展,出现了多种反水雷技术并行交错发展的局面。

(1)扫雷技术。20世纪70年代后,由于微电子器件、传感器件、计算机和信号处理技术的迅速发展,水雷引信变得越来越“聪明”,能够对舰船与扫雷具进行识别。这种识别经历了由低级到高级的过程,出现了“智能水雷”。

智能水雷的目的在于打击特定目标,通常用于毁伤敌舰队主力或重要商船。对于智能水雷,传统扫雷具难以奏效。

针对此种情况,从20世纪80年代开始出现了所谓“按目标设定”扫雷。“按目标设定”扫雷的基本点是:利用扫雷具较精确地模拟水雷要打击的舰船目标物理场特征,使水雷无法识别而被诱爆,从而达到扫除水雷和保护己方舰船安全通过的目的。

在各种反水雷手段中,扫雷出现得最早。扫雷分为两大类:接触扫雷和非接触扫雷,按其拖曳方式又可分为水面舰船拖曳式、直升机拖曳式和遥控式。长期以来,扫雷技术发展缓慢,尤其出现猎雷后,许多大国海军把重点转向猎雷,更使扫雷技术发展趋于停顿。然而,随着逐渐认识到单一猎雷存在的局限,大多数国家海军现已达成共识,即最有效的反水雷兵力应包括猎雷和扫雷,两者互为补充。

1)遥控扫雷受到重视,现代化改进产生新一代的遥控扫雷装备。由于遥控扫雷能够解决长期以来存在的扫雷安全性问题,许多国家海军都将遥控扫雷技术作为其扫雷装备发展的一个重点。

德国的“特洛依卡”遥控扫雷系统是遥控扫雷系统的一个典型代表。它开发于70年代,1982年在德国海军首次服役。90年代中期德国海军对其进行了现代化改进,与荷兰联合开发了采用新型导航控制系统的改进型“特洛依卡”系统,新系统包括1艘母艇和4艘遥控艇。这种改进是德国海军进一步加强其反水雷能力计划(MA2000计划)的一部分。荷兰海军也装备了改进后的“特洛依卡”遥控扫雷系统。

瑞典的“萨姆(SAM)”遥控扫雷系统是一种小型系统,对其的开发始于60年代后期,70年代初在瑞典海军服役。目前瑞典海军计划继续增强遥控扫雷能力,开发新一代的“萨姆”遥控扫雷系统。日本海上自卫队也装备了“萨姆”遥控扫雷系统,两艘扫雷主控艇已于1998年初改装完毕。

美国正在研制可用于遥控的轻型非接触扫雷系统(ALISS)。英国海军

也已制定了装备遥控扫雷系统的计划, 该项计划的可行性研究正在进行。

虽然直升机扫雷也被认为是一种比较安全的方法, 但是对扫雷直升机性能要求高, 机载反水雷装备的使用费用也比较高。长期以来, 只有美国海军致力于不断提高这种反水雷能力。MH-53E 扫雷直升机是现役机载反水雷能力的代表, 现已配套的反水雷装备有接触扫雷具、非接触扫雷具、先进的猎雷声呐、机载激光探雷系统以及快速机载灭雷系统等。

2) 开发对付新型水雷的扫雷技术。与非触发引信水雷相对抗的非接触扫雷技术一直是反水雷技术发展中最具特色的一个热点。

非接触扫雷的基本原理是通过扫雷具产生声、磁等物理场诱爆非触发引信水雷。目前主要有两种基本方式: 按水雷设定方式和按目标设定方式。按水雷设定方式的基本点是针对已知的水雷引信参数产生扫雷物理场。由于老式水雷引信参数主要是简单的符号逻辑和动作阈值(灵敏度), 所以传统扫雷具采用按水雷设定方式, 通过一些标准声、磁信号产生扫雷物理场。这种手段对于简单的非触发引信水雷是有效的。随着水雷引信技术提高, 一些新型的非触发水雷能够识别传统非接触扫雷具的声磁信号特征, 甚至识别目标舰船特征, 从而给非接触扫雷带来新的问题。按目标设定方式扫雷就是为解决这一问题而产生的新方法。这种方法的基本点在于用扫雷具模拟被保护舰船的物理场特征。

目前世界上已出现几种可模拟舰船声磁场特征的非接触扫雷系统, 如法国研制的“燕鸥”系列、英国研制的“海蛇”、澳大利亚研制的 DYAD 等, 这几种系统的共同特点是通过若干可控磁体组成线列阵模拟舰船磁场。DYAD 已装备澳大利亚海军 10 多年; 丹麦海军于 1996 年引进了该型扫雷系统, 用于遥控艇拖曳; 日本海军也已订购该型扫雷系统。比利时海军则订购“燕鸥 M”系统装备其新建的反水雷舰艇。另外, 三电极电磁扫雷具也作为传统电磁扫雷具的一种改进成为一些国家的现役装备, 主要有: 芬兰研制的 FIMS 声磁联合扫雷系统、瑞典的 IMAIS 声磁联合扫雷具、挪威的声磁联合扫雷具等。

英国“海蛇”型和法国“燕鸥”型电磁扫雷具能准确模拟不同舰船的磁场, 用 6~10 个磁体按一定间隔排成与船长相近的纵向列阵拖曳扫雷, 每个磁体的磁矩大小和极性可分别控制; 还可只用 2~3 个磁体展开按传统方式扫除常规磁性水雷, 以取得较大扫雷宽度。