

猎扫雷作战效果评估与控制

马爱民 著

国防工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

猎扫雷作战效果评估与控制/马爱民著. —北京:国防工业出版社, 2000.1

ISBN 7-118-02074-5

I. 猎… II. 马… III. 水雷-扫雷-效果-评估 IV. E951.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 11000 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 73 1/2 202 千字

2000 年 1 月第 1 版 2000 年 1 月北京第 1 次印刷

印数:1—1000 册 定价:12.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

序 言

反水雷作战是打破敌方水雷封锁、保证海军作战和后勤支援部队顺利完成在指定水域遂行作战和运输任务的唯一手段,它和海军的基本任务——控制海洋密切相关,因而是海军的主要作战模式之一。猎雷和扫雷是主要的主动反水雷作战模式,但由于水雷武器的隐蔽性、保密性等因素,致使有关猎扫雷作战指挥与作战效果评估这一迫切需要解决的重要问题变得十分复杂。

《猎扫雷作战效果评估与控制》一书是国内第一本系统研究反水雷作战效果评估问题与作战指挥控制系统的学术著作。本书在详细分析猎扫雷作战过程和特点的基础上,运用先进的理论与方法,建立了作战效果评估模型,该评估模型有较好的适应性,不仅较圆满地解决了定量评估的难题,而且还加深了对作战过程的认识,完善了作战指挥理论,并为优化作战过程、提高猎扫雷作战的针对性奠定了基础。运用该模型进行评估时,以实时数据为主要评估依据,不需要建立在岸上的庞大数据库的支持,因而可以直接应用于猎扫雷舰艇上;如果考虑到数据库内容的滞后性和战时情报来源可能的偏差等因素,本书所提供的方法将具有更普遍的适用性,因而作者的研究成果是领先的。对如何在高技术战争条件下提高我军反水雷作战能力和战术水平问题,作者在本书中作了大量的开创性工作,如在猎扫雷作战指挥中引进了闭环控制的概念和技术,提出了动态作业的新概念,从而改变了目前的“计划—实施—评估”的开环模式,将作战实施的核心由计划转变为实施,丰富了作战指挥的内涵,必将为提高猎扫雷部队的战斗力作出贡献。

本书是作者多年来从事有关猎扫雷作战效果与控制问题方面

研究成果的总结。愿本书的出版能为进一步促进我军反水雷力量建设、促进社会对水雷战的认识和了解作出应有的贡献。

中国造船工程学会
水中兵器学术委员会 副主任

龚沈光

1998年8月

目 录

导 论	1
第一章 猎扫雷作战基础	8
第一节 水雷武器及其使用特点	8
第二节 反水雷武器	19
第三节 猎扫雷作战	24
第二章 猎扫雷作战过程概率分析	29
第一节 猎扫雷作战数据误差	29
第二节 搜扫模型	36
第三节 平行搜扫过程概率分析	48
第三章 猎扫雷作战过程模型与仿真	70
第一节 猎扫雷作战过程数学模型	70
第二节 观测数据分析	77
第三节 作战过程仿真模型	83
第四章 最小二乘评估方法	88
第一节 最小二乘法简介	88
第二节 最小二乘求解方法	91
第三节 限制维数最小二乘解法与仿真试验	93
第四节 剔除式最小二乘解法与仿真试验	98
第五节 非线性最小二乘解法与仿真试验	103
第五章 卡尔曼滤波评估方法	108
第一节 卡尔曼滤波技术	108
第二节 猎扫雷作战模型分析与滤波方程	110
第三节 仿真试验结果与分析	115
第六章 神经网络评估方法	125

第一节	神经网络技术简介	126
第二节	猎扫雷作战过程特征与网络模型	133
第三节	用于评估的神经网络实例	138
第四节	各种评估模型综合分析	142
第七章	剩余水雷位置分析	149
第一节	横距曲线范围实时估计	150
第二节	搜扫遗漏区位置分析	161
第三节	水雷障碍位置分析	164
第八章	作战方案优化	178
第一节	作战预案	178
第二节	预先作业	183
第九章	作战实施与决策	199
第一节	实施参数误差修正	199
第二节	机动作业	207
第十章	反水雷作战指挥自动化	216
第一节	反水雷作战指挥自动化需求	216
第二节	自动化指挥系统功能与组成	220
第三节	反水雷作战指挥系统	226
参考文献		237
后记		239

导 论

反水雷是一种重要的海上作战形式,在现代海战中具有十分重要的地位。近十多年来,由于水雷技术的迅速发展,对反水雷能力提出了越来越高的要求,世界各国竞相发展反水雷装备,形成了目前以猎雷和扫雷两种技术为主要手段的基本格局。

反水雷作战的基本目的是排除或减少水雷威胁。然而水雷处于海水这一天然屏障掩护下,无法直接观察到,即使有了现代化装备,清除水雷仍然是一项非常艰难的工作。为保证可靠性,反水雷人员必须反复搜寻整个可疑区,使作战过程花费大量时间。因此,如何达到高可靠性和高效率,是反水雷作战所要达到的基本目标。

要达到上述目标,第一种手段是战前制定合理的作战方案。假如充分掌握了各种情报,包括水雷数量、性能、位置、自然环境条件、以及反水雷武器的作战性能等,当然易于制定合理的作战方案,达到最高效率。但遗憾的是,几乎所有战前情报都不够准确,甚至在布雷方已提供了水雷资料的前提下,仍然存在信息不完整的情况(如漏记、误记等)。因此,反水雷作战指挥官最基本的思路之一就是不能完全相信情报的准确性。这一点在战时反水雷作战中更具有典型性。

既然情报准确性难以保证,上述第一种手段便难以奏效。在这种情况下,必须考虑第二种手段,即在作战过程中不断修正实施参数,使作战效率逐步接近或达到最高。如果从控制论的角度看,第一种手段属于开环控制,其控制精度有限,通常无法有效地清除系统误差;而第二种手段属于闭环控制,可以最大限度地排除系统误差,在方法上更加科学合理。本书对如何实现上述第二种手段进行全面讨论,即在反水雷作战中,如何通过实施过程中获得的数

据,实现作业参数的修正,逐步提高作战效率。可以说,在反水雷作战过程中引入闭环控制概念,对作战指挥提出了新的要求。

要在作战过程中实现对自身的控制,必须解决两个问题:一个是作战效果评估,另一个是作战效果控制。没有科学合理的评估结论,就没有进行作战控制、实施作战指挥的依据;只进行评估而不考虑控制,实际上并没有实施作战指挥。因此评估与控制是同一个问题的两个方面,缺一不可。实际应用中,必须根据作战过程中获得的信息,对实际情况进行估计,然后运用适当的决策方法,对作战方案进行修正,逐步提高其准确性。通过这种闭环反馈方式,使作战行动最终达到最佳,实现作战效果的控制。

一、反水雷作战效果评估问题

评估问题并非本书提出的新概念,在开环控制方式下,也必须对作战效果进行评估。作战效果是衡量反水雷作战成功与否的根本标准,如果水雷的清除程度不高,则无论如何都不能认为是作战成功。然而实际问题常常表现为另一种提法,即对作战效果能否进行准确判断。如果清除程度很高却误认为不高,或剩余很多水雷却以为已经清除干净,都会造成严重问题,前者将浪费时间甚至贻误战机,后者则可能造成通航舰船的损失。事实上,即使水雷并未清除,但只要情况已被了解,水雷威胁也会下降。由此可见,清除程度在某种意义上说并非关键,而能否准确判断清除程度却格外重要。因此,作战效果评估能力,是反水雷作战最基本的因素之一,反水雷作战指挥官对此必须有清醒的认识。

到目前为止,反水雷作战效果评估所采用的基本思路,都是利用已有的调查、试验或实战数据,结合作战情况实现评估,称为经验评估方法。这种方法的最大优点是准确性高,因此被世界上各水雷战强国广泛采用。然而这种方法必须以完备的数据库和强大的数据处理能力为后盾,即对战区可能出现的任何水文地理条件、可能出现的任何水雷,都有相似的、充分的资料数据,以便在战时使用。对如此庞大的数据库,必须使用相适应的硬、软件系统,完

成数据的存储、管理、查找和分析。

经验评估方法在数据完备性和设备性能方面具有相当高的要求,为了能够有效地应用这种方法,在水雷战水平较高的国家,都建有专用的水雷战数据库,通常采用专用网络和分布式技术,并由水雷战专家使用和维护。一旦有了作战需求,数据库就能发挥作用,为作战部队制定作战计划,分析作战效果,提供技术支持。

然而,经验评估方法存在两个致命的弱点。一个是无论数据多么丰富,总有不能满足作战需要的情况。首先,对新出现的水雷武器,必定有一段时间处于数据资料缺乏状态,特别是有些国家对水雷武器的技术性能严格保密,出口严加控制,要获取数据极为困难,而战争期间这种情况必将更加严峻;其次,在水雷布设时,可以任意选择工作参数,即使能够了解水雷性能,也很难作出准确判断。这些情况都会使经验评估方法出现缺陷,不能充分满足作战使用的需求。

经验评估方法的另一个弱点是,这种方法基于庞大的数据库和高性能的计算机网络,不适宜反水雷舰艇直接使用,通常都以共享系统的形式建立在岸上,同时向所有反水雷作战兵力提供支持。这样形成的评估系统,要求所有参加作战的兵力,都必须依赖于通信技术与其保持联系,一旦通信中断或数据库受损,对局部甚至全局会产生极大的影响。因此其实时性能和生命力有所不足。

随着水雷技术的迅速发展,如何进一步提高反水雷作战效果实时评估能力,以对付不断出现的新型装备,适应瞬息万变的战场态势,提高作战适应性,已成为反水雷作战中迫切需要解决的问题之一。

反水雷作战效果实时评估技术,必须能够摆脱对历史数据资料的依赖性,要能够通过实际作战过程中获得的各种数据,实现作战效果的定量评估。而以实时评估技术为前提的作战效果控制技术,则必须充分利用反水雷作战的各个不同阶段,从系统的角度逼近最优控制,提高作战效率。

二、反水雷作战效果与剩余危险

反水雷作战效果评估与剩余危险分析是两个经常同时提到的概念,似乎它们所说的是同一件事情,但这种看法并不准确。实际上,反水雷作战完成后的评估问题,可从两个不同角度进行考察,这两个角度分别是作战者和使用者。前者包括直接参战者、其它反水雷兵力,后者包括上级、友邻、通航者。

众所周知,无论哪一种反水雷手段都不是万能的,都有其无法对付的水雷。比如:声呐探雷时,对掩埋雷就无法探测;在礁石丛生的海区,由于声呐无法分辨水雷和岩石,也无法探测水雷。在扫雷作战中,扫雷具与水雷配合与否,是决定水雷能否被扫除的关键因素,例如声扫雷具不可能扫除磁引信水雷,水压引信水雷目前还没有适用的扫雷具。由此可见,在扫雷和猎雷两种作战方式中,都将面对两种水雷:一种是可以清除的,另一种是无法清除的。

使用者关心的主要问题是:经过反水雷作业的海区中是否还存在水雷威胁?这种威胁有多大?这就是通常所谓的剩余危险问题,即要求对存在于雷区内的所有水雷作出说明,无论它们是可以清除的还是无法清除的。

对作战者,仅仅了解上述剩余危险情况还远远不够。他们更关心反水雷兵器与水雷间的对抗能力,也就是对那些可清除水雷的清除能力,而对无法清除的水雷并不十分关心。他们需要了解可清除水雷的清除比例、整个作战过程的效率、不同水雷和反水雷兵器之间对抗过程中的各种有关数据等。通过这些信息,他们可以更加准确地掌握情况,作出合理决策,提高作战效率;更加深入地了解敌方水雷和己方反水雷兵器的技术性能,为今后作战积累更加丰富的经验。可以说,他们对反水雷作战过程所要了解的东西,表述为作战效能更为贴切。

从作战者设想一种特殊情况:雷区中都是无法清除的水雷,则作业结果必定是没有发现水雷。在这种情况下,要想对剩余危险进行分析,显然与反水雷作业关系并不大,因为作业过程中并没能得到有关剩余水雷的任何信息。也就是说,对无法清除的水雷进行估计,很大

程度上可以在反水雷作业之前进行,根本不必等到作业结束。

当雷区内存在可清除和不可清除两种水雷时,情况仍与上述情况类似。作业后对可清除水雷的位置、数量等情况有所了解,因此有可能对其剩余情况做出分析。但对无法清除的水雷,由于没有获得任何新的信息,因此只能根据事先掌握的情况、根据对可清除水雷的分析结果等两方面信息进行分析。

由此可见,从应用角度看,对作战结果的分析,应分为两个方面,一方面针对可清除水雷,另一方面则针对所有可能存在的水雷。为此特别定义如下:

剩余危险分析——反水雷作战完成后,对作业区内仍然存在的水雷威胁进行的分析,

作战效果评估——反水雷作战中,针对可清除水雷所作的分析,包括反水雷武器对适用水雷的清除能力、清除比例、剩余数量、定次分布、清除效率,以及各种有关数据与情况。

需特别指出的是,在剩余危险的定义中,所谓剩余水雷,可由任何原因造成,如遗漏、掩埋、补充布放等。剩余危险的标准,与一般水雷障碍威力表示方法相同,即由水雷数量、定次、触雷概率与期望值等表示。剩余危险分析具有更为广泛的意义,其中也包含了作战效果评估的有关内容。

作战效果评估只针对那些能被发现的水雷,即所谓适用水雷。例如使用声扫雷具进行扫雷,则作战效果是就可被声扫雷具扫除的水雷而言的。假定雷区内有声、磁引信水雷各一半,若作业后所有声引信水雷都被清除,则从作战效果评估的角度看,清除比例为100%,剩余水雷为0。但从剩余危险的角度看,清除比例仅为50%。再比如,雷区中被完全掩埋的水雷占一半,则对猎雷作业,清除比例达到100%时,完全掩埋雷仍然存在于作业区中,并可能对通过舰船造成威胁。

三、作战效果控制

从系统的角度看,作战效果控制问题必须全面考虑,也就是

说,必须从作战方案制定和实时修正两个方面进行控制。

在制定作战方案时,要求尽可能使其接近最佳方案。而要做到这一点,不仅需要认真研究方案制定方法,更需要对制定作战方案所依据的原始数据进行核实和验证,必要时,甚至需要在正式作战之前进行预先作业,以获取关键数据。

作战指挥问题,更集中地体现在作战实施过程中。在实施过程中对猎扫雷作战效果进行控制,其关键是合理利用作战效果评估的结论。由于观测数据不可避免地受到随机干扰,评估结论会出现相应的随机性,在这种情况下,如何合理利用评估结论,是需要认真考虑的问题。除此之外,当作战方案修正后,怎样使修正前后进行的工作保持衔接,并便于进行统一的效果评估,是另一个必须解决的问题。

多年来,猎扫雷作战都是采用事先制定作战方案,并严格按方案实施的作战形式,但这种形式并非一成不变。在现代高科技条件下,计算机技术可以提供高速度的运算能力,可以在很短的时间里完成复杂的分析工作,因此在猎扫雷作战过程中,有可能采用机动作战形式,以在某些特殊情况下,更有效地提高作战效率。

提高作战指挥自动化水平,是现代高技术战争发展的一个重要方向。反水雷作战指挥自动化问题,在国外早已受到高度重视,并形成了比较成熟的作战装备。在现代作战条件下,离开指挥自动化技术,作战能力将受到极大限制,作战效果评估与控制也难以实现。因此尽快实现反水雷作战指挥自动化,是提高作战能力的重要技术保证。本书对此也作了分析。

本书在内容上分为两部分,第一部分为作战效果评估问题研究,从第一章到第七章:第一章为水雷反水雷作战装备及使用基础知识,第二章为猎扫雷作战过程的概率分析,第三章讨论猎扫雷作战过程状态空间模型建立,第四章至第六章讨论几种作战效果评估方法,第七章讨论剩余水雷位置估计问题;第二部分讨论作战效

果控制问题,从第八章至第十章:第八章讨论作战方案制定过程中的控制,第九章讨论作战实施过程中的控制,第十章讨论猎扫雷作战指挥自动化。

第一章 猎扫雷作战基础

水雷战是海军特有的一种作战形式。随着技术进步,特别是传感器、信号处理元器件以及微处理器技术在水雷引信中的应用,水雷已从原始的爆炸物发展成为最有效的海战武器之一。与此同时,反水雷技术也在不断发展,形成了水雷与反水雷技术的对抗,而水雷与猎扫雷技术的对抗,是其中最基本和最常见的形式。

水雷武器的最大特点之一是时效长。在其它旧式武器不断被淘汰的现代战争史上,旧式水雷却意外地占有极其重要的地位。虽然与新型水雷相比,它们有种种不足,但从本质上看,它们仍具有水雷武器易布难扫的特点,并能在现代海战中发挥作用。由于旧式水雷数量极大,且制造方便,因此在现代海战中仍占有重要地位。

第一节 水雷武器及其使用特点

一、水雷类型与特点

水雷武器种类繁多,性能各异,可按不同方法分类。其中最常用的分类为:按水中状态分为锚雷、沉底雷和漂雷,按布放工具分为空布雷、潜布雷、舰布雷,按起爆方式分为触发雷、非触发雷等。从反水雷角度看,按水中状态进行分类最为实用,因为每一类水雷都可以用一类反水雷武器去处理。

新型水雷采用了各种新技术,不仅使用范围扩大了,还可以在某种程度上识别目标,从而具备了极强的抗猎、扫能力。尽管新型水雷造价高,数量不会很大,却是反水雷作战的难点,必须给予充

分注意。

(一) 锚雷

锚雷是由雷锚和雷索将雷体系留在水中一定深度的水雷,有触发雷和非触发雷两种,可由水面舰艇、潜艇和飞机布放,使用水深从数米到上千米,定深范围从数十厘米到数百米。锚雷可用于防御、攻势和机动布雷作战。锚雷通常由雷体、雷锚、雷索、定深装置及辅助装置等构成。雷体通常由钢板、铝合金或玻璃钢制成,内装炸药、起爆装置和引信仪表等,有一定的正浮力。雷锚有两方面用途,在水雷布放前,用于安放雷体;在水雷布放于水中后,雷锚与雷体分离,雷锚附着在水底,通过雷索将雷体系留在水面下一定深度上。雷索平时存放在雷索卷盘上,布放时放出,将雷体系留在设定深度。定深装置能在水雷布放时控制雷索长度,使雷体处于水下设定深度上。

锚雷多为触发雷。装有非触发引信的锚雷,可增大定深度,减少风浪对雷体的影响,延长寿命。一些特种水雷,如火箭上浮水雷、自导水雷、定向攻击水雷等都属锚雷。

锚雷的主要缺陷是雷索易折断,因此布放后,受布雷海区风浪、潮汐、水流等自然条件影响较大。另一方面,雷索的存在也是锚雷易被清除的主要原因,接触扫雷具通过截断雷索,使锚雷浮出水面,再通过其它手段将其处理掉。但当水雷定深增大、雷索长度减小后,上述弱点将在很大程度上被克服,这是由于定深增大将减小风浪等自然环境的影响。而当雷索很短,雷体非常接近水底时,一般的接触扫雷具也对其无可奈何。

(二) 沉底雷

沉底雷是布放后潜沉在水底的水雷。沉底雷具有较大的负浮力,可由飞机、潜艇和水面舰艇布放。沉底雷通常装有非触发引信,当舰船靠近、并进入其打击范围时,沉底雷的非触发引信将引爆水雷。由于沉底雷位于水底,打击水面舰船时,会受到水深的限制,使用水深为数十米,而打击潜艇时,使用水深可达数百米。

沉底雷总体结构简单,一般由装药雷体、引信装置、辅助仪表

等构成。其仪表部分可装多种非触发引信,具有较强的抗扫和抗干扰能力。为扩大其使用范围和作战性能,在其辅助仪表中装有以下装置:

定时器——设定定时时间。其作用是,水雷布放后,在定时时间范围内,水雷引信处于关闭状态,不能接收外界信号。使用定时器,可以增大水雷的抗扫能力。

灭雷器——设定灭雷时间。其作用是,灭雷时间到,水雷将会被销毁(引爆或失效)。其目的是及时排除水雷威胁,以利于通航。使用灭雷器可以增大战术使用方面的灵活性。

定次器——处于战斗状态的水雷,其引信接收到信号后,将使定次器的定次减少一次,如果剩余定次为0,则水雷起爆。使用定次器可以显著增加水雷的抗扫能力,迫使对方反复进行扫雷。

防拆卸装置——使已经处于战斗状态的水雷被拆卸时,能引起水雷自爆的辅助装置。该装置的用途是保护水雷秘密,防止敌方通过打捞、试验等手段获取水雷的技术性能,使水雷的作战能力受到影响。

沉底雷外形与雷体材料种类很多。70年代以前研制的水雷,多使用铁制雷体,绝大部分为圆柱体。现代新型水雷,考虑对付声呐探测,使用了铝合金、玻璃钢等新材料,并设计为各种特殊的外形。

传统的非触发引信主要探测舰船的磁、声、水压三种物理场,检测手段以阈值和延时方式为主,即对达到一定阈值、并持续一定时间的信号,可判别为目标。在此基础上,辅以对信号极性、次数的简单判断,作为判别目标的标准。为提高抗干扰能力,这类引信中常采用联合引信技术,即要求同时接收到多种物理场信号,才能引爆水雷。由于这类传统水雷传感器技术相对落后,点火算法比较简单,因此其打击舰船的准确性较低,抗扫能力一般。

自70年代以来,由于微机技术在非触发引信中的应用,使非触发引信的性能显著提高,不仅在识别目标、提高打击准确性和抗干扰等方面有了很大改善,而且使原有扫雷具的扫雷能力下降到接近0。但与传统水雷相比,其造价高,数量少,难以像传统水雷

那样大量使用。

一般来说,沉底雷隐蔽性较好,受水流及风浪影响小,性能相对稳定,抗扫能力强。从反水雷角度看,沉底雷是反水雷作战的主要对象,也是最难以对付的目标。

(三)漂雷

漂雷是处于水面或水中一定深度上,呈漂行状态的水雷。漂雷可由水面舰艇、潜艇和飞机布放。漂雷上通常装有触发和非触发引信。按其水中状态,可分为水面漂雷、固定定深漂雷和自动定深漂雷。其中,自动定深漂雷装有寻深装置,可控制漂雷在设定深度上稳定漂行。漂雷布设后,雷体剩余浮力一般不为零,如无寻深装置,漂雷将上浮水面或沉入海底。寻深装置可将海水吸入或排出雷体,调整雷体重量,达到剩余浮力为零,使漂雷停留在任一深度;或产生上浮力或下沉力,使偏离定深度的漂雷回到定深度上。漂雷的最大特点是使用水深不受限制,但其位置不确定,受水流影响大。由于其寻深装置消耗能量大,因此漂雷的战斗有效期都很短,通常只有几天。

由于漂雷对非交战国的船只也会产生极大威胁,因此其使用受到国际公约的限制。

锚雷、沉底雷、漂雷的水中状态如图 1-1 所示。

