

鱼雷武器远程精确打击导引模式和技术 架构初步探索

顾险峰¹ 钱建平¹ 马远良²

(1. 中国船舶重工集团公司第七〇五研究所 西安 710075; 2. 西北工业大学 西安 710072)

摘要: 中、远程精确打击是潜艇使用鱼雷武器攻击航母编队、大型水面舰艇编队的主要作战模式。本文以远程反舰重型鱼雷武器为背景对鱼雷武器导引模式和技术的框架思路、关键技术、数据融合方法和环境进行了初步探索。利用鱼雷导引数据综合处理装置,建立立足于鱼雷武器的鱼雷导引数据处理体制,强化与舰船作战指控装置间的目标信息沟通、充分利用作战体系、潜艇平台、鱼雷的探测数据进行目标运动分析,从而提高鱼雷武器对目标远程感知和跟踪能力,可以大幅度提高鱼雷武器系统的综合作战性能和协同作战能力。

关键词: 鱼雷武器 远程精确打击 导引模式 航母编队

Preliminary Research on Guidance Pattern and Technique Framework of Long - Range Accurate Attack Torpedo Weapon

Gu Xianfeng¹ Qian Jianping¹ Ma Yuanliang²

(1. The 705 Research Institute, CSIC, Xi'an, 710075; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an, 710072)

Abstract: The Medium - long range accurate attack is a major operation pattern of submarine to attack carrier task group by torpedo weapon. In this paper, preliminary study guidance pattern and technique framework, key techniques, information fusion and environmental effects of long - range anti - ship torpedo weapon are presented. Firstly, a guidance data processing framework based on torpedo itself should be developed. And then, information exchange between the torpedo and the weapon command and control system of the combat platform should be strengthened to make full use of the available information. As a result of the combination of the above two aspects, it is possible to greatly improve the long - range target sensing and tracing ability, enhance the integrated combat performance as well as the coordination ability of the torpedo weapon system. This concept can be implemented through the development of a central guidance information device inside the torpedo guidance system.

Key words: torpedo weapon, long - range accurate attack, guidance pattern, carrier task group

0 引言

航母编队、大型水面舰艇编队在未来高科技战争中是敌方的主要海上作战平台,也是对我国的主要威胁之一。在现代信息作战环境下,中、远程精确打击是远程攻击武器与现代信息技术相结合的产物,是远程精确制导武器作战效能的拓展和延伸,是向网络信息作战方向发展的必然趋势,也是对航母编队的主要

作战模式。因此,远程反舰重型鱼雷作战的突出特点将是远距离导引和精确命中。本文中的远程反舰重型鱼雷武器是指实现此种作战模式所需航程为 50 ~ 100km、有效射距为 35km 以上的重型鱼雷武器。

1 航母编队防御的主要特点和薄弱环节

1.1 航母编队防御作战的主要特点

(1) 航母编队在其活动的海域内,必然要千方百

计夺取制空权、制海权和电子战的控制权。

(2) 以舰载空中预警机为核心的空战集群凭借先进的网络探测体系的信息支撑和各种导弹、飞机和舰载防空武器的有机组合,在航母编队周围建立了纵深达 400km 左右的多层次、全方位严密防护的空中防御区域。在没有取得制空权和电子战的控制权的情况下,从空中突防来攻击航空母舰编队是困难的。远程、精确制导弹高密度、多方位攻击是对其的重要的作战模式。

(3) 以反潜飞机(含固定翼飞机和直升机)、反潜水面舰艇、攻击型核潜艇为探测平台和武器平台,各种性能先进的声呐为主要探测设备及鱼雷和反潜导弹为主要防御武器,在航母编队周围建立了纵深达 200km 左右的水下防御区,用于对潜搜索、攻击和探测、拦截来袭鱼雷。但由于水声环境的制约和声呐探测性能的限制,很难形成统一严密控制的防御区。

1.2 航母编队防御的薄弱环节

(1) 航母编队规模很大,因而造成了目标庞大,隐蔽性差。在作战体系中,航母编队通过侦察卫星、预警飞机、远程无人侦察机、超视距雷达和多艘舰艇声呐装置组成的探测网络是不难发现和准确定位的。

(2) 由于海洋水声环境的制约和声呐设备性能的限制,航母编队很难形成严密、统一控制的反潜防御区。水下防御是航母编队防御体系中的薄弱环节。庞大的航母编队的水下防御和协调作战是存在许多技术困难和制约的,特别是在复杂的水文和气象条件下受到的制约更大。航母编队航行时,航空母舰辐射噪声很高,声源级可达 140 ~ 160dB(1kHz 处的声压谱密度级)。很容易被对方潜艇声呐探测到,而且也给航母编队自身的声呐探测造成很大的干扰。

近年来水面舰艇编队强化了协同作战能力和对导弹和鱼雷的防御能力。美国大型水面舰艇普遍安装了鱼雷报警装置。对鱼雷的报警距离可达 5 ~ 15km 左右,准确探测、跟踪鱼雷方位的距离可达 5 ~ 10km 左右,施放干扰器材和反鱼雷鱼雷的距离一般为 3 ~ 5km 左右。

2 潜艇使用远程精确制导鱼雷武器作战模式初步分析

鱼雷是在海洋环境中高速航行的精确制导武器。由于水下空间的不透明性,海洋环境给潜艇等水下作战舰船平台和鱼雷武器带来了良好的隐蔽性,同时,也严重地制约了它们对目标的探测和数据通讯能力。

潜艇使用鱼雷武器攻击航母编队(包含大型水面舰艇编队,下同)主要有三种作战模式:(1) 潜艇使用超高速鱼雷(鱼雷航速在 150kn 以上)在近距离对航母编队实现突袭;(2) 潜艇使用潜射火箭助飞重型鱼雷对航母编队进行远程集群攻击;(3) 潜艇使用管装远程鱼雷武器对航母编队进行远程精确集群攻击。

潜艇使用管装远程鱼雷武器对航母编队进行远程精确集群攻击作战模式,经多方面的仿真分析,综合隐身性能好的潜艇远程突防,使用远程精确制导鱼雷对航母编队和水面舰艇编队实施中、远程精确打击(典型攻击距离为 30 ~ 70km),成功几率是相当大的。

在无法取得远离大陆的航母作战区域制空权、制海权和电子战控制权的情况下,使用陆基各种远程导弹实施远程攻击,利用综合隐身性能好的潜艇发射远程精确制导鱼雷,实施中、远程精确打击。这种协同作战模式,是对航母编队和大型舰艇编队进行攻击的主要作战模式。这种作战模式的实现需要有三个条件:首先是对远距离航母编队目标的探测和准确定位。仅仅依靠单艘潜艇的水声探测装置是很难快速发现目标的。只有借助于作战体系中的侦察卫星、预警飞机、远程无人侦察机和多艘舰艇声呐组成的探测网络体系的综合探测能力才能得以远距离、快速实现,因而目标信息的获取、通信和融合处理就成为关键技术。其次是,这种作战模式必然是多艘潜艇在作战体系的统一指挥协调下突破航母编队外、中层防御区域的集群攻击模式。潜艇主要在距航母 30 ~ 70km 的防御范围进行攻击。第三是需要具有远程的、可集群作战、攻击能力很强的鱼雷武器。

远程反舰重型鱼雷就是在潜艇作战指控系统的指挥下,对航母编队、大型水面舰艇编队进行远距离攻击所使用的鱼雷武器。这里的远距离是指在敌方水面舰艇舰壳声呐探测区以外(典型值为 20 ~ 50km 左右),并且要在敌方通用鱼雷武器的有效作战半径以外(典型值为 20 ~ 30km 左右)。这样,才能保证综合隐身性能好的潜艇有效地突破敌舰艇编队的中外层水下防御,发挥有效的作战效果并保障潜艇的安全。远程反舰重型鱼雷武器与通用鱼雷相比,其远程突防能力、集群攻击能力及毁伤能力等战技性能有显著提高,对提高整个作战体系和潜艇的攻击航母和大型水面舰艇编队的整体作战能力可以起到重要作用。

英阿马岛海战及潜艇和航母编队的多次对抗演习中,低噪声潜艇成功突破航母编队的多层反潜防御区,进入航空母舰附近的情况也屡屡发生。因此,利

用综合隐身性能好的潜艇使用远程反舰重型鱼雷对航母编队进行远距离攻击是一种重要的作战模式。

3 远程反舰重型鱼雷武器导引模式和技术架构初步分析

远距离目标探测和定位是远程精确打击的关键支撑技术,也是远程攻击鱼雷武器系统使用的前提条件之一。只有借助于作战体系数据网络和包括潜艇作战平台、武器指控系统和鱼雷武器系统的充分数据融合和协调才可能得到有效的解决。远程反舰重型鱼雷导引模式和技术架构研究的目的,是探讨建立立足于鱼雷武器、由鱼雷导引数据综合处理装置实现的目标数据综合处理技术架构;充分利用潜艇、鱼雷的目标探测数据,组成目标运动数据链;进行目标运动分析得到目标的航迹,从而提高鱼雷武器对目标探测、定位、识别能力,提高鱼雷武器系统的综合作战性能和协同作战能力。

从目前实际使用的技术情况分析,只有攻击潜艇自身的探测导引声呐搜索到航母或水面舰艇目标,武器指挥控制装置解算到目标的初步位置和运动参数,才能发射和导引远程反舰重型鱼雷进行有效攻击。因此,潜艇的目标数据融合分析的基本目标是充分利用作战体系的目标信息,及早搜索到航母或水面舰艇目标,并选择有利阵位,发起攻击。在这种作战模式中,对潜艇而言,提高其目标数据融合和声呐远程感知能力是关键。鱼雷作为水下信息网络的前沿节点,通过光纤与潜艇交换有关目标的信息并接收有关导引指令。潜艇指控装置提供的目标位置和运动参数信息为鱼雷早发现和搜索到被攻击的目标创造了重要条件。只有鱼雷自身导引装置搜索到航母或水面舰艇目标并进行处理和判别后,才能进行跟踪并发起有效攻击。因此,鱼雷的目标数据融合分析的基本目标是充分利用潜艇综合的目标信息,及早搜索到攻击目标。在这种作战模式中,对鱼雷导引而言,提高其自导远程感知和目标数据融合处理能力是关键。

近年来,计算机和电子技术的发展,水声技术特别是鱼雷低频高空间增益阵处理技术和尾流自导技术、远程反舰重型鱼雷自主定位技术和水下光纤数据通讯技术的进展,为增大远程反舰重型鱼雷自导装置的探测距离和提高探测精度、为鱼雷定位精度的提高及潜艇和鱼雷之间的远距离通讯、也为远程反舰重型鱼雷的导引数据融合创造了有利条件。

远程反舰重型鱼雷上的导引数据融合实际是涉

及两个探测平台:发射潜艇和鱼雷探测平台;两套坐标系:潜艇运动坐标系和鱼雷运动坐标系;不同性能和精确度的多种目标、武器平台和武器运动探测装置:潜艇武器指控装置、潜艇声呐探测定位装置、潜艇导航定位装置;鱼雷低频被动声探测和目标尾流探测装置、鱼雷导航和定位装置(由鱼雷水声多普勒测速装置和捷联式惯导装置组合构成)及引信探测装置;多个探测对象:以单目标为主的运动参数(含目标距离、方位、航向、航速等参数)的复杂数据融合。

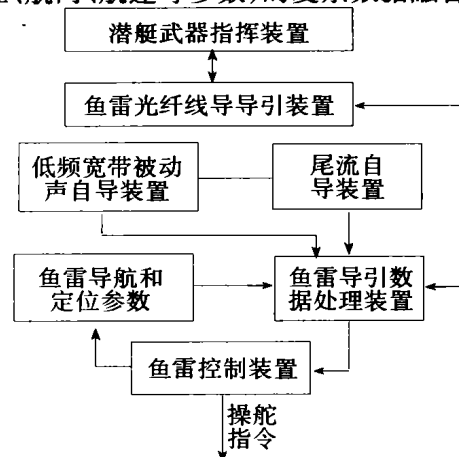


图1 远程重型反舰鱼雷导引装置架构原理框图

鱼雷的导引声呐与舰载(艇载)声呐相比,具有突出的难点:(1) 由于鱼雷空间尺度的制约,其声呐基阵的空间尺度和声学结构受到很大的限制,因而其工作频率和声学基阵的空间增益和指向性等性能受到很大的制约。(2) 由于鱼雷高速航行,航行噪声大,而且由于空间体积和尺度的制约,其自噪声也很大,严重影响了鱼雷声自导的探测、定位性能。(3) 鱼雷导引声呐本实质上是跟踪导引装置,与一般声的探测、定位功能,在机理和工作环境方面有很大的区别。

由于上述诸多原因的制约,国际上,鱼雷的声呐工作频率长期限制在 22 ~ 30kHz,探测距离也停留在 3km 以内的范围。这严重地制约了潜艇作战平台和鱼雷武器系统远程精确打击作战能力的提高。

为大幅度提高远程反舰重型鱼雷导引性能及潜艇作战平台和鱼雷武器系统作战能力,充分利用通过各种手段获取目标信息,向协同作战的模式转化,进行目标运动和定位的特征数据融合是十分必要的。

为了实现在鱼雷上的目标运动数据融合,必须首先解决以下几个关键问题:

(1) 鱼雷自导装置的探测距离和搜索空间范围要与作战态势和所攻击目标及作战需求相匹配。为了与鱼雷武器 30 ~ 70km 的有效射距相匹配(资料分

析,潜艇声呐探测距离为 30~70km 时的水面舰艇,距离误差典型值为 1.5~10km 左右。为扩大鱼雷的搜索概率,鱼雷自导装置的探测距离需要覆盖这个误差,在攻击目标采取有效对抗鱼雷措施前(资料分析,水面舰艇对鱼雷的报警距离典型值为 3~10km 左右,而可靠地捕获攻击鱼雷目标运动数据和威胁态势并采取有效对抗措施距离一般为 2~5km),鱼雷要可靠发现并跟踪目标。据初步计算,要求鱼雷自导装置对大型水面舰艇目标的探测距离要达到 3~8km,这是很必要的,在技术上也是有可能实现的。

(2) 鱼雷要具备先进的远距离、精确自主定位性能。鱼雷远程自主定位装置应包括捷联式惯导测试装置和实时雷速测试装置。

(3) 鱼雷要具备与发射潜艇远距离(50~100km)、快速、大容量、可靠的数据通讯能力。这是鱼雷武器系统与舰船作战平台间进行有效的目标数据融合,以达到鱼雷远程精确打击所必须具备的主要工作环境和数据条件。

在鱼雷搜索阶段要充分利用潜艇探测的目标方位数据,作为检测目标的视在方位中心;在鱼雷导引初段以潜艇武器指控装置通过光纤传输目标数据为主,自导数据为辅;在鱼雷自导装置连续、可靠地捕捉到目标信号,并给出稳定目标方位角等数据后,要以鱼雷自导数据为主,潜艇传输数据为辅;在鱼雷整个导引过程中实施上述导引数据处理体制是适宜的。

3.1 鱼雷线导导引阶段

远程反舰重型鱼雷由于自身工作环境条件的制约,在导引前段需要依托潜艇武器指挥装置的综合数据,通过线导装置对鱼雷进行遥控和遥测(主要是目标和鱼雷的位置和运动信息及相应海区的水文数据)。由于水下光纤通讯技术的进展,潜艇和鱼雷之间的远距离、大容量、高速度数据通讯技术上已是比较成熟的。而远程反舰重型鱼雷自主定位精度的提高和水声装置探测距离的增加,能够基本包容潜艇声呐探测数据的误差,这样就为运动目标的检测和参量估计的多传感器数据融合提供了更大的空间和时间范围。初始测试同步信号由潜艇作战指控系统给出。首先要根据潜艇提供的目标运动数据,特别是将目标方位数据折算到鱼雷坐标系上,然后以瞬时的目标方位中心数据作为鱼雷水声探测的视在中心进行探测,由于有了潜艇提供的连续的目标方位等运动数据信息,限定了鱼雷声自导探测的空间与时间范围,压缩了目标搜索的数据量。在潜艇的导引下,随着鱼雷与

目标距离的逐渐接近,鱼雷声自导装置发现、检测到目标的概率明显增大。为了增大鱼雷自导的检测概率,关键是要使鱼雷自导的探测空间范围(含距离和方位)要能覆盖潜艇声呐的空间探测误差,而且探测时基要同步。

由于潜艇和远程反舰重型鱼雷的水声传感器是独立和分布地进行测试的。而这两组传感器之间位置是不断变化的,而且,这两组传感器的探测参数范围和精度都有很大差别。为了进行运动目标参数的融合,需要解决以下几个重要问题:

(1) 这阶段测试数据的融合最适宜的是目标实时位置状态信息融合,其基本目标是得到攻击目标的运动航迹,为鱼雷快速、准确扑获目标创造条件。具体地说,要以潜艇指控装置通过各种方式得到的远距离目标中心作为鱼雷水声探测的视在目标中心,鱼雷声自导装置在其附近进行目标的快速检测和搜索。

(2) 此时的目标数据关联,一是要进行数据对准,此时的数据对准是用建立测试基准时基和几何变换的方法使各测试系统时间、空间数据基准统一、匹配,这是进行数据关联处理的前提。数据对准和关联处理的精度要满足鱼雷目标检测和初步方位估计的需求。二是要以潜艇的测试数据为主,这是因为潜艇的测试数据是经过长时间累计的,是相对稳定的,而且起伏较小,而远程反舰重型鱼雷此阶段的测试数据是正在逐步建立,而且起伏较大。

(3) 数据融合要以鱼雷可以探测的运动目标方位特征数据为主,进行数据关联处理。同时要充分利用潜艇探测或推导的目标方位变化率、距离、速度、航向等运动参数,为在鱼雷运动坐标系上逐步得到目标的运动航迹创造条件。目标运动参数的处理涉及到目标有关数据的一致性检验和关联性处理。

(4) 大量的理论研究和应用分析表明,对于运动目标导引的特征数据融合而言,采用贝叶斯统计推断算法和卡尔曼滤波处理算法具有较高的稳健性、准确性和较快的运算速度。

(5) 这一阶段数据融合的立足点是为导引机制向下一阶段(鱼雷自导为主阶段)平稳转移创造条件。

(6) 此阶段导引数据融合的技术关键在于对建立在两个运动坐标系上探测的目标方位等运动数据的对准、关联和融合的工程算法研究,要满足鱼雷实时目标检测和搜索的需要。

3.2 鱼雷自导导引阶段

随着鱼雷与目标的逐步接近和自导装置测试数

据的累积,在自导装置能给出连续、稳定的目标方位角数据后,要根据有关准则,及时转为以鱼雷自导数据为主,以潜艇提供的目标数据为辅的导引阶段。所谓导引数据融合是涉及三个层次的问题:(1)对鱼雷探测的目标参数与潜艇给出的目标参数是否属于同一目标的数据一致性检验(或称作导引数据的互联性)。(2)鱼雷连续探测的目标信号是否属于同一目标的数据检验(或者称为瞬时测量值与测量值序列的数据一致性检验)。(3)将互联的各方位测量数据按一定的最优准则综合起来,以得到精确制导所需目标方位数据。

一致性检验的方法是进行参量的相关性检验。一般采用贝叶斯假设检验方法。这阶段数据融合处理的重要问题是:

(1)由于此阶段远程反舰重型鱼雷与目标的距离更近、检测信噪比更高,其目标方位探测的精度更高,而且目标特征的信息量更大(还可以利用其他探测技术得到目标更丰富的信息,如舰艇尺度、水面舰艇目标的吃水深度等等)。此时的目标方位数据融合,一是要以鱼雷的目标方位测试数据为主,辅以潜艇提供的目标方位数据及目标的距离、速度、航向等运动参数。二是数据对准和关联处理的精度要满足鱼雷精确导引的需求。实现多个探测系统确定的目标运动参数数据的关联性处理。

(2)为了减少目标方位数据的起伏和满足鱼雷精确跟踪、攻击弹道设计的需要,需要对目标方位数据进行平滑滤波、关联、外推等后置处理。而且在整个导引过程,需将发射潜艇探测的目标有关运动参数(含目标方位、方位变化率、航向、距离、速度)、发射潜艇与鱼雷的相对的位置参数及同步测试信号完整地传输给鱼雷导引计算机,以进行综合处理。为目标方位数据融合及导引弹道的优化设计创造条件。

(3)远程反舰重型鱼雷既是潜艇攻击目标的武器装备,又可以作为潜艇探测系统的延伸和扩展,其丰富的融合数据为完善目标运动和特征数据链创造了条件,也为后续鱼雷集群攻击提供了重要的参数。

(4)此阶段导引信息融合处理的目标是为鱼雷精确跟踪和攻击目标的弹道设计提供必要、完整的数据,为建立鱼雷攻击的目标运动和特征数据链提供更完整的信息。

(5)此阶段导引数据融合的技术关键是在依据鱼雷探测目标方位数据的基础上如何充分利用潜艇探测目标方位、速度、距离等运动参数的综合工程数

据融合的算法研究,要满足实时精确攻击弹道设计的需求。

表1 鱼雷不同导引阶段数据融合特点

特点	导引模式处理	
	线导为主的导引阶段	自导为主的导引阶段
数据时间对准方式	潜艇测试同步指令信号	潜艇测试同步指令信号
数据空间对准方式	二个运动探测坐标系实时几何变换	二个运动探测坐标系实时几何变换
数据空间对准精度要求	初步对准	精确对准
数据关联加权	以潜艇探测目标方位等数据为主	以鱼雷探测目标方位等数据为主
数据融合算法	贝叶斯估计和最小二乘法滤波	衰减 $\alpha-\beta$ 滤波、卡尔曼滤波
数据融合益处	压缩搜索数据处理量、加大目标捕捉概率、鱼雷快速捕获目标、加速导引模式平稳转移	增大方位测量精度、提供精确跟踪、攻击弹道设计数据、增加附加特征信息、鱼雷向潜艇提供近距离精确的目标特征

4 结 语

用远程重型反舰鱼雷武器实现远程精确打击是潜艇使用鱼雷武器攻击航母编队、大型水面舰艇编队的一种重要作战模式。远距离导引和精确命中又是对远程反舰重型鱼雷的导引的主要作战和使用要求。

利用鱼雷导引数据综合处理装置,建立立足于鱼雷武器的鱼雷导引数据综合处理体制,强化鱼雷与舰船作战指控装置间的信息联系沟通、充分利用潜艇指控装置和鱼雷获取的目标的信息、进行目标运动综合分析、从而有效地提高鱼雷武器系统对目标的远程感知能力,可以大幅度提高鱼雷武器系统的综合作战性能和协同作战能力。

鱼雷低频被动声自导和尾流自导技术、鱼雷远程自主定位技术和水下光纤数据通讯技术的进展,为远程反舰重型鱼雷的导引数据融合创造了重要条件,也为鱼雷武器的实现远程精确打击创造了前提条件。

参 考 文 献

- [1] 刘同明等著.数据融合技术及其应用[M].国防工业出版社,1998
- [2] J.C.哈萨比著,董志荣等译.水下信号和数据处理[M].七一六所出版,1993
- [3] 顾险峰,钱建平,董春鹏.潜艇使用鱼雷武器攻击航母编队态势探讨[C].水中兵器学会论文集.2000.8

作者简介: 顾险峰,男,1944年生,1966年毕业于哈尔滨工业大学。研究员,所副总工程师。主要从事鱼雷武器研究和设计工作。曾获省部级科技进步奖多项,发表论文多篇。