

引用格式:王道重,唐金国,肖玉杰,等.编队舰空导弹接力制导研究[J].电光与控制,2018,25(9):84-87. WANG D Z, TANG J G, XIAO Y J, et al. On relay guidance of ship-to-air missile for warship formation[J]. Electronics Optics & Control, 2018, 25(9):84-87.

## 编队舰空导弹接力制导研究

王道重<sup>1a</sup>, 唐金国<sup>1b</sup>, 肖玉杰<sup>2</sup>, 宫明慧<sup>1a</sup>

(1. 海军航空大学, a. 研究生管理大队; b. 科研部, 山东 烟台 264001; 2. 海军装备研究院, 北京 100161)

**摘要:** 首先分析了当前反舰导弹对水面舰艇的威胁, 着眼于提高整个舰艇编队的防空反导能力, 引入了接力制导的概念并讨论了其现实意义。随后对编队舰空导弹接力制导的交接方式、具体流程和交接班平台的主要任务进行了深入探讨。最后指出接力制导所面临的关键技术问题, 为今后开展相关研究指明了方向。

**关键词:** 舰艇编队; 舰空导弹; 接力制导; 制导交接

**中图分类号:** V271.4; TJ765 **文献标志码:** A **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2018.09.018

## On Relay Guidance of Ship-to-Air Missile for Warship Formation

WANG Dao-zhong<sup>1a</sup>, TANG Jin-guo<sup>1b</sup>, XIAO Yu-jie<sup>2</sup>, GONG Ming-hui<sup>1a</sup>

(1. Naval Aeronautical University, a. Graduate Students' Brigade; b. Department of Scientific Research, Yantai 264001; 2. Naval Academy of Armament, Beijing 100161, China)

**Abstract:** The threats of anti-ship missiles to the surface warships are analyzed at first. To improve the air-defense and anti-missile capability of the whole warship formation, the concept of relay guidance is introduced and its significance is given. Then the switching mode, the basic process and the main tasks of the shifting platform of the relay guidance are analyzed in detail. Finally, the critical technologies and challenges in the relay guidance are pointed out, which provides a direction for future research.

**Key words:** warship formation; ship-to-air missile; relay guidance; guidance handover

### 0 引言

在海上空袭与反空袭的作战中,反舰导弹对水面舰艇的威胁十分严峻。随着科学技术在军事领域的不断发展,反舰导弹在速度、灵活性、多样性、隐身性和超低空等方面都有了显著提高,并具有超视距攻击、饱和攻击、多方向攻击、电子干扰和集群作战等袭击方式,使得水面舰艇防御反舰导弹越来越被动。由于受到地球曲率的影响,单个水面舰艇的视距和制导范围是有限的,在面临超视距攻击(防区外打击)的情况下,不能探测到敌方发射平台,不能预知敌来袭方向,只能处于被动挨打的局面。要提高舰艇编队的防空反导能力,就要扩大编队的探测距离,做到提前发现来袭目标,提前预警,扩大舰艇编队的制导距离,扩大拦截纵深进行多次拦截。舰艇编队协同反导<sup>[1-2]</sup>可有效提高

编队的探测距离和制导距离,是未来海上防空反导作战的必然要求。接力制导是舰艇编队协同反导的重要环节之一,深入研究舰空导弹的制导交接问题,对提高舰艇编队的防空反导能力具有重要意义。

### 1 接力制导的概念及现实意义

所谓接力制导,是指导弹发射至命中目标这段时间内,制导指令通过不同的制导站接力发送给导弹,使导弹能够在飞行过程中,通过不断修正飞行弹道,达到击毁目标的目的<sup>[3]</sup>。编队舰空导弹接力制导的现实意义如下。

#### 1.1 扩大舰艇编队的低空防御范围

如图1所示,舰载雷达由于受到地球曲率的影响,对低空目标的探测距离为

$$L = 4120 \times (\sqrt{H} + \sqrt{h}) \quad (1)$$

式中: $H$ 表示舰载雷达的水平高度; $h$ 表示来袭反舰导弹的水平高度。若取 $H = 25 \text{ m}$ ,  $h = 16 \text{ m}$ ,在理论上,舰载雷达对低空目标的探测距离为 $L = 37.08 \text{ km}$ 。实际

收稿日期:2017-10-13

修回日期:2018-07-20

作者简介:王道重(1988—),男,辽宁昌图人,硕士,讲师,研究方向为海军航空、导弹装备发展论证。

作战中,舰载雷达还会受到海杂波以及敌方的电子干扰等影响,实际探测距离会小于其理论探测距离。

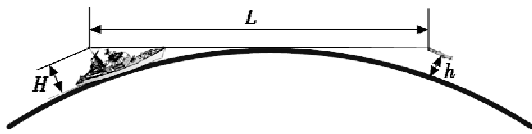


图1 舰载雷达低空探测距离

Fig.1 Detecting distance of ship-borne radar at low altitude

目前,美国海军舰空导弹的主要性能指标如表1所示<sup>[4-7]</sup>。

表1 美国海军主要舰空导弹的性能指标

Table 1 Performance indicators of USN ship-to-air missile

防御范围	舰空导弹名称	最大射程/km	拦截高度/m	最大飞行Ma数	制导体制
超远程	标准3 (Block 1A/1B)	1200	70 000 ~ 500 000	3	中段 GPS + 惯性与指令修正 + 轨控控姿 + 焦平面红外成像制导
远程、中远程	标准2 中程 (SM-2MR)	74	10 ~ 24 000	2.5	惯导体制/指令 + 半主动雷达寻的
	标准2 增程 (SM-2ER)	200	10 ~ 24 000	3	惯导体制/指令 + 半主动雷达寻的
	标准6	370(有资料说是400)	最大 33 000	3	惯性 + 中段无线电指令修正 + 末段主动雷达寻的
中近程	改进型“海麻雀”(ESSM)	50	5 ~ 3000	3.6(有资料说是4)	惯性 + 指令 + 半主动雷达(新一代采用主动雷达作为末端制导)
近程	海拉姆 (RAM)	9.26	5 ~ 5000	2.5	RF/IR 双模(RIM-116A); RF/IR 双模 + 自主红外(RIM-116B)

由此可见,美国超远程、远程和中远程舰空导弹的最大射程要远大于发射平台雷达的制导距离,当舰空导弹不在发射平台制导范围内时,可以令其他符合接力条件的平台对舰空导弹进行接力制导,则远程和中远程舰空导弹的射程优势就能得以充分发挥,进而突破单舰雷达的制导范围限制,扩大舰空导弹的低空杀伤远界,形成超视距拦截的优势,尤其提高了对巡航段(一般速度较低且直线飞行,易于拦截)反舰导弹的拦截概率,同时也会增加舰艇编队的反应时间和拦截次数。

### 1.2 可有效对抗反辐射导弹

反辐射导弹又称反雷达导弹,是指利用敌方雷达的电磁辐射进行导引,从而摧毁敌方雷达及其载体的导弹<sup>[8]</sup>。在复杂战场环境下,我方舰艇编队若同时受到反辐射导弹和反舰导弹的攻击,采用无线电静默的方式虽能够降低反辐射导弹的攻击成功率,但同时,反舰导弹也会对编队产生巨大威胁;如果舰空导弹一直

由发射平台制导,又容易被反辐射导弹发现和跟踪。舰艇编队接力制导,使舰空导弹与不同平台的制导雷达匹配,形成无固定制导平台的模式,如此切换制导雷达,可以使敌方的反辐射导弹难以跟踪我方雷达所辐射的电磁波,从而在不影响我方舰空导弹制导的情况下,使敌方反辐射导弹命中率大幅降低。

## 2 接力制导的交接方式

接力制导的交接方式有直接交接(图2)和间接交接(图3)<sup>[9-10]</sup>两种。

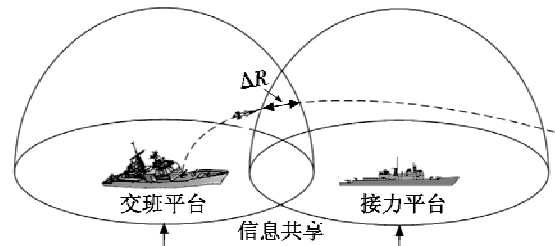


图2 直接交接示意图

Fig.2 Sketch map of direct handover

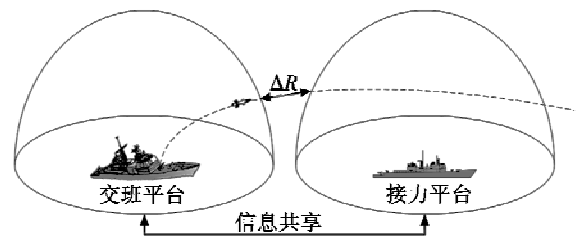


图3 间接交接示意图

Fig.3 Sketch map of indirect handover

直接交接如图2所示。交班平台对已发射的导弹进行实时测量,并与接力平台实时共享导弹信息来完成制导交接。其条件是:交班平台与接力平台的制导工作区具有足够的重叠部分,即

$$\Delta R > V_{\max} t_0 \quad (2)$$

式中: $V_{\max}$ 表示舰空导弹的最大速度; $t_0$ 表示两平台完成交接所需要的时间。

间接交接如图3所示。交班平台对当前导弹的运动信息进行计算,预测出导弹可能的飞行轨迹,并将实时预测出的导弹飞行轨迹信息发送给接力平台。接力平台根据交班平台提供的信息,在一定范围内搜索导弹,从而实现对导弹的截获,完成制导交接。其条件是:交班平台与接力平台的制导工作区没有重叠部分,且

$$\Delta R < V_{\max} t_k - V_{\max} t_0 \quad (3)$$

式中: $V_{\max}$ 表示舰空导弹的最大速度; $t_k$ 表示舰空导弹的自毁时间; $t_0$ 表示两平台完成交接所需要的时间。

## 3 接力制导的流程

编队舰空导弹接力制导的具体流程如图4所示。

1) 舰艇编队协同探测,某平台率先发现目标,并将目标信息共享给整个编队,经过信息融合、威胁评估和火力分配,发射平台接收到打击目标的指令,发射舰空导弹,此时舰空导弹由发射平台制导;

2) 编队各平台共享我方舰空导弹速度、方向角和位置信息,根据我方当前制导数量和最大制导数量,再由编队协同探测、信息共享敌袭目标的速度、方向和位置等信息,计算符合接力条件平台的优先权值;

3) 选出优先权值最大的协同平台作为下一个接力制导平台;

4) 当前制导平台向已确定的接力平台发出交接请求,并实时共享舰空导弹信息;

5) 接力平台接收到交接请求,并根据交班平台提供的信息对舰空导弹进行截获;

6) 接力平台获得舰空导弹制导权,并向交班平台发出交接完成的信息;

7) 完成一次制导权交接,分析当前制导平台是否需要再次接力,是,则执行步骤 2),否,则执行下一步;

8) 对拦截效果进行实时监控,如果拦截成功,则打击完毕,否则执行步骤 1),或进入下一个拦截层;

9) 完成一次接力制导过程。

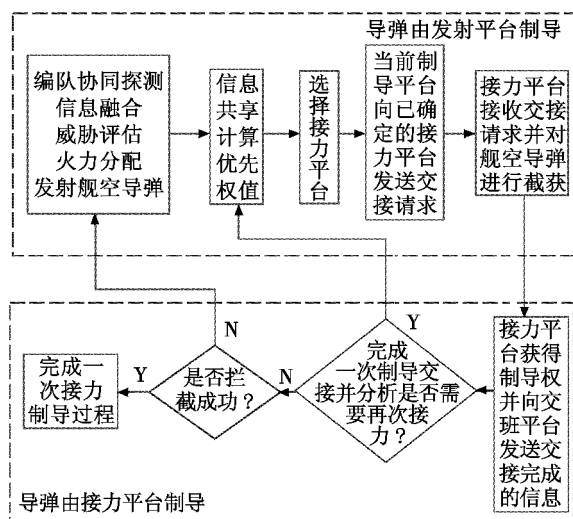


图 4 接力制导的流程

Fig. 4 Process of relay guidance

#### 4 交班平台与接力平台的主要任务

交班平台的主要任务是实时向接力平台提供舰空导弹的指示信息,该指示信息精度越高,接力平台就越容易对导弹进行截获,交接时间就越短。接力平台的主要任务是接收交班平台所提供的导弹信息,并以此对舰空导弹进行截获,从而获得导弹的制导权。设接力平台的导弹跟踪探测维数为  $n_0$ ,导弹的截获方式为:

1) 等待截获,接力平台在导弹的  $n_0$  维坐标上等

待导弹落入,然后对导弹进行截获;

2) 搜索截获,接力平台以导弹的  $n_0$  维指示信息为搜索范围,进行  $n_0$  维坐标搜索,从而截获导弹;

3) 等待和搜索相结合的截获方式,接力平台在  $n_1$  ( $n_1 < n_0$ ) 维坐标上等待的同时,在  $n_2$  ( $n_2 = n_0 - n_1$ ) 维坐标上进行搜索,从而发现并截获导弹,该方式使用较多。

#### 5 接力制导的关键技术

编队舰空导弹接力制导所涉及的领域很多,其实现过程属于复杂系统工程,需要研究的关键技术主要包括时空同步技术、导弹制导技术、制导通道的选取等。

##### 5.1 时空同步技术

编队舰空导弹接力制导是在高度协同和信息融合的基础上进行的。由于每一艘舰艇的地理位置和作战环境不同,所探测和跟踪的数据也是不同的。使不同的探测数据融合为时空同步的、互补的、有效的信息,并转换为本地舰艇坐标,才能实现发射平台与接力平台之间的数据交接和转换,达到跨平台接力制导的目的。而且在面临多目标攻击的情况下,可能需要多次跨平台接力制导,如果编队内舰艇之间的时空同步精度不够,可能会导致反导的失败。

##### 5.2 导弹制导技术

制导系统是舰空导弹的核心部分之一,是拦截目标的关键。由于受到各种不同空袭武器的威胁,舰空导弹所采用的制导方式也不尽相同,常用的制导方式有遥控制导、寻的制导和复合制导 3 种<sup>[7-8]</sup>。

###### 5.2.1 遥控制导

遥控制导可使导弹“唯命是从”,其制导站位于导弹之外,控制导弹的制导指令是由弹外制导站不断对目标的跟踪、测量和计算而得,导弹在接收到制导站发来的制导指令后,不断修正自身飞行弹道,与目标相会。指令制导和波束制导同属于遥控制导的范畴,但两者的指令传输方式不同。指令制导的传输方式可分为无线传输、有线传输和电视指令传输;波束制导可分为激光波束制导和雷达波束制导。遥控制导的不足之处在于导弹的杀伤远界会受弹外制导站制导距离的限制,导弹距弹外制导站越远,制导精度就会越低。

###### 5.2.2 寻的制导

寻的制导可使导弹“自动飞向目标”,反辐射导弹就属于寻的式制导,当导弹感受到目标反射或辐射的能量时,就会自动测量导弹和目标的相对参数,形成跟踪、控制命令,导引武器自动飞向目标。按导弹上导引系统有无照射目标的能量源及其位置,可分为被动寻的制导、主动寻的制导和半主动寻的制导,主动寻的制导具有“发射之后不用管”的优点,却易受电子干

扰。若按感受电磁波的波段划分,可分为射频寻的制导和光学寻的制导两种,其中,射频寻的制导包括微波寻的制导、毫米波寻的制导。毫米波导引头相对微波导引头具有体积小、重量轻、精度高、抗干扰能力强、低仰角跟踪性能好、多普勒分辨率高以及具有穿透等离子体能力等优点,但容易受到大气的影响,作用距离短。光学寻的制导包括电视寻的制导、红外寻的制导和激光寻的制导。电视寻的制导具有体积小、重量轻、精度和智能化高等特点;红外寻的制导具有识别和抗干扰能力强等特点;激光寻的制导具有主动探测的特征,捕获的目标信息更为全面。

### 5.2.3 复合制导

复合制导是一种“优势互补”的制导方法,将各种制导方式的优点组合在一起,并进行综合运用就是复合制导。采用复合制导的导弹虽然制造成本高,但具有抗干扰能力强、制导精度高和制导距离远等优点,实际上,远程和中远程舰空导弹均采用了复合制导的方式,单一的制导方式不能满足现代化战争的需求,复合制导方式的运用将会更加广泛。

不同制导方式会对编队舰空导弹接力制导产生不同的影响。因此,需要继续对制导方式进行深入研究,并以实践来检验各种制导方式在不同情况下的可行性。

### 5.3 制导通道的选取

制导通道<sup>[11]</sup>的选取是编队舰空导弹接力制导的难点,主要体现在“网络 + C<sup>4</sup>ISR 系统”指挥决策的复杂性。不同于单舰制导,接力制导要考虑编队内其他平台的影响,编队的队形、阵位配置、舰空导弹的交接空域等都是变化的,如何确定制导通道的选取是最优的,提出相应的优化算法,也是今后接力制导研究工作的重点方向。

## 6 结束语

编队舰空导弹接力制导是舰艇编队协同交战能力

(CEC)的重要组成部分,要求以发射平台为中心的防空反导转向以网络为中心的防空反导,有效提高了中远程舰空导弹的低空杀伤远界。本文对接力制导的现实意义、交接方式和交接班平台的主要任务进行了浅析,并给出接力制导的具体流程。编队舰空导弹接力制导是一个具有广阔探索空间的问题,目前还面临着诸多技术挑战,需要进一步研究。

### 参考文献

- [1] 刘建英,李小龙,王钦钊. 国外指挥控制建模研究现状及启示[J]. 电光与控制,2011,18(4):56-60.
  - [2] 宋伟,李新. 美海军协同作战能力[J]. 舰船电子对抗,2007,30(3):9-12.
  - [3] 刘兵. 舰空导弹超视距协同作战技术研究[J]. 现代防御技术,2009,37(4):7-10.
  - [4] 秦剑冬,邢昌风,吴玲. 编队舰空导弹协同制导防空作战研究[J]. 舰船科学技术,2010,32(5):80-83.
  - [5] 李翼,钟生新. 舰空导弹防空体系分析[J]. 现代防御技术,2005,33(1):1-4,9.
  - [6] 朱平云,胥辉旗,曲晖. 反舰导弹突防技术[M]. 北京:兵器工业出版社,2015:3-9.
  - [7] 张忠阳,张维刚. 防空反导导弹[M]. 北京:国防工业出版社,2012.
  - [8] 李斌. 世界经典武器装备 - 导弹武器[M]. 北京:中国经济出版社,2015:353-357.
  - [9] 乔良,王航宇,石章松,等. 编队协同防空制导交接仿真研究[J]. 指挥控制与仿真,2009,31(4):81-83,86.
  - [10] 余亮,邢昌风,王航宇,等. 编队协同防空作战中制导交接问题分析与建模[J]. 舰船电子工程,2008,28(4):47-49,59.
  - [11] 滕克难. “协同制导通道”基本概念及其应用分析[J]. 现代防御技术,2013,41(4):44-48.
- 
- (上接第83页)
- [7] 魏立兴,孙合敏,吴卫华,等. 改进的 GM-CBMeMber 机载多普勒雷达多目标跟踪算法[J]. 空军预警学院学报,2017,31(3):162-166.
  - [8] MO L B, SONG X Q, ZHOU Y Y, et al. Unbiased converted measurements for tracking[J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 1998, 34(3):1023-1027.
  - [9] DUAN Z S, HAN C Z, LI X R. Comments on unbiased converted measurements for tracking [J]. IEEE Transactions on Aerospace & Electronic Systems, 2004, 40(4):1374.
  - [10] SCHUHMACHER D, VO B T, VO B N. A consistent metric for performance evaluation of multi-object filters [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2008, 56(8):3447-3457.
  - [11] RISTIC B, VO B N, CLARK D, et al. A metric for performance evaluation of multi-target tracking algorithms [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2011, 59(7):3452-3457.