

doi: 10.7690/bgzd.2018.09.002

## 地空导弹系统与反辐射导弹对抗中的发射时机研究

刘宇<sup>1</sup>, 顾佼佼<sup>2</sup>, 胡文萱<sup>2</sup>, 于岚<sup>3</sup>

(1. 海军航空大学航空训练基地, 山东 青岛 266000; 2. 海军航空大学接改装大队, 山东 烟台 264001;  
3. 空军大连通信士官学校训练部, 辽宁 大连 116000)

**摘要:** 针对地空导弹系统及反辐射导弹对抗中的发射时机问题, 采用仿真方法对各方的发射时机进行研究。分析空地攻防对抗过程, 对其运动模型进行建模, 在此基础上进行发射时机解算, 并对攻防过程进行仿真, 分析各自的攻击用时及二者用时差值, 提出各方的最佳发射时机。研究表明: 该发射时机决策方法合理可行, 可为武器装备作战使用提供参考。

**关键词:** 地空导弹; 反辐射导弹; 发射时机; 攻防对抗

**中图分类号:** TJ410.2 **文献标志码:** A

## Study on Launching Time of Ground to Air Missile System and ARM Confrontation

Liu Yu<sup>1</sup>, Gu Jiaojiao<sup>2</sup>, Hu Wenxuan<sup>2</sup>, Yu Lan<sup>3</sup>

(1. Aviation Training Base, Navy Aeronautical University, Qingdao 266000, China;

2. Restructure Team, Navy Aeronautical University, Yantai 264001, China;

3. Training Department, Air Force Dalian Communication Officer Academy, Dalian 116000, China)

**Abstract:** Aiming at the launching opportunity problem of ground to air missile and anti radiation missile confrontation, the launching opportunities are analyzed by simulation. Analyze the air-to-ground confrontation process, establish model of motion model. Based on this, calculate the launching time and simulate the attack and defense countermeasure process, the time cost and time differences between the two are analyzed respectively, put forward the best launching time. The research result is proved that this method is reasonable and feasible, which can be used as a reference for the operational use of weapon equipment.

**Keywords:** ground to air missile; anti radiation missile; launching timing; attack and defense countermeasure

### 0 引言

现代信息化条件下的战争中, 雷达是防空武器系统防御、制导、定位等能力的“眼睛”, 一旦雷达被攻击损坏, 武器系统将无法正常工作。反辐射导弹(anti-radiation-missile, ARM)就是利用辐射源的辐射能量进行被动寻的, 进而摧毁辐射源及其载体的电子战硬杀伤武器, 对雷达系统构成严重的威胁<sup>[1]</sup>。

以反辐射导弹攻击我地空导弹阵地为例, ARM的主要地面目标是雷达站, 在空地攻防对抗过程中, 提高雷达站自身的生存能力就需要考虑武器的发射时机, 应保证抢先将武器发射出去, 摧毁敌方战机并同时保证自身不被空地导弹所伤。同理, 从载机的角度来看, 要提高攻击机自身的生存能力就需要考虑武器发射时机的问题, 应保证攻击机抢先将武器发射出去, 摧毁地面目标并同时保证自身不被防空武器所伤。

因此, 笔者对地空导弹武器系统与反辐射导弹抗击中各自的发射时机进行研究, 结合地空导弹与反辐射导弹的运动模型, 对其作战过程进行仿真, 在对抗中对比研究各自的发射时机, 可对武器系统的发射区进行优化计算。

### 1 空地攻防对抗过程

大部分情况下, 攻击机是对已知位置的雷达目标实施攻击, 空地反辐射导弹主要采用主动攻击方式。主动攻击方式是指为掩护攻击机群突防或实施攻击, 对已知位置的防空雷达目标采取主动压制的攻击方式<sup>[2-3]</sup>。对已知位置的雷达目标进行攻击, 不要求飞机具有复杂的高精度侦察定位系统, 只依靠导弹导引头也可实施攻击。

大多数先进的反辐射导弹发射时, 载机并不对准目标发射导弹, 而是在离目标较远的低空发射导弹, 导弹发射以后, 爬高飞行一段后进入敌方目标雷达波束, 在满足一定的条件后, 进入近区引导段

收稿日期: 2018-05-25; 修回日期: 2018-06-29

作者简介: 刘宇(1986—), 男, 北京人, 硕士研究生, 助理讲师, 从事军事装备学研究。

自动寻的，直到命中目标。发射方式如图 1 所示。对这种发射，由于载机在远距低空发射导弹，发射后也不用照射目标和导弹，可以立即逃逸。在这种方式下，载机足够安全。

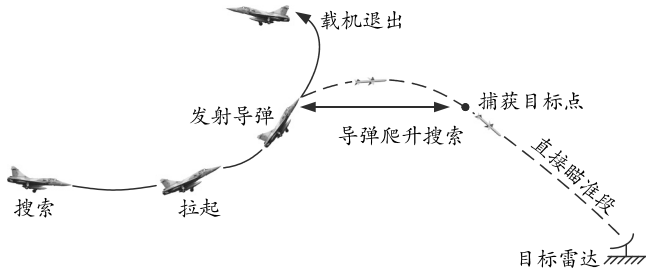


图 1 载机发射 ARM 过程

对于地空导弹阵地来说，如果已经处于战斗准备好的状态，搜索发现目标后，经过诸元计算、拦截适宜性判断等之后，即可发射导弹。如果要打击敌导弹载机，就要在敌机发射导弹并逃逸之前进行。

## 2 空地对抗过程建模

### 2.1 攻防过程

以时间来度量空地对抗过程如图 2 所示。其中： $t_{r1}$  为地面雷达发现目标到跟踪确认的时间； $t_{r2}$  为指挥控制单元的决策时间； $\Delta t_f$  为从按下发射按钮到导弹离开发射架的延迟时间； $t_{r3}$  为导弹在空中的飞行时间。

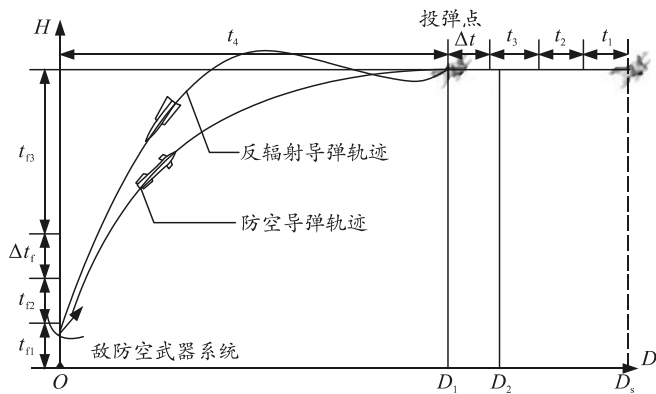


图 2 防空系统与反辐射弹发射时间

相应的， $t_1$ 、 $t_2$ 、 $t_3$ 、 $\Delta t$ 、 $t_4$  分别为载机对地发射反辐射导弹时的导引头截获时间、武器准备时间、飞行员反应时间、武器从点火到脱离挂架的时间，以及 ARM 的飞行时间； $D_s$  为起始时刻防空武器系统与攻击机间的斜距； $D_1$  为攻击机发射反辐射导弹时防空武器系统与攻击机间的空间斜距； $D_2$  为防空导弹脱离发射架时防空武器系统与攻击机间的斜距距离<sup>[3-4]</sup>。

### 2.2 导弹运动模型

地空导弹一般采用多段复合制导的方式<sup>[5]</sup>，此处不对制导过程详细介绍。主要制导阶段采用的是比例导引方法，用三自由度质点运动模型对其运动过程建模<sup>[6]</sup>。反辐射导弹的比例导引段同样采用此运动模型。在惯性坐标系下导弹质心运动学方程如式(1)、式(2)所示：

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_m &= v_m \cos \theta_m \cos \psi_m \\ \dot{y}_m &= v_m \sin \theta_m \\ \dot{z}_m &= -v_m \cos \theta_m \sin \psi_m \end{aligned} \right\}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{M_t} &= x_{M(t-1)} + \int \dot{x}_m dt \\ y_{M_t} &= y_{M(t-1)} + \int \dot{y}_m dt \\ z_{M_t} &= z_{M(t-1)} + \int \dot{z}_m dt \end{aligned} \right\}. \quad (2)$$

式中： $(x_{M_t}, y_{M_t}, z_{M_t})$  为导弹  $t$  时间在惯性坐标系的坐标； $v_m$  为导弹速度； $\theta_m$  为导弹航迹俯仰角； $\psi_m$  为导弹航迹偏转角； $(\dot{x}_m, \dot{y}_m, \dot{z}_m)$  为导弹速度  $v_m$  在各个坐标轴上的分量。

### 2.3 载机运动模型

假定载机偏航方向的机动过载为  $n_y$ ，俯仰方向的转弯控制过载为  $n_z$ ， $(x_{T_t}, y_{T_t}, z_{T_t})$  为  $t$  时间在惯性坐标系的坐标， $v_t$  为速度， $\theta_t$  为航迹俯仰角， $\phi_t$  为航迹偏转角，角速率表示如式(3)所示，式(4)、式(5)为速度  $v_t$  及载机位置在惯性坐标系中的计算<sup>[7]</sup>。

$$\left. \begin{aligned} \dot{\theta}_t &= n_y g / v_t \\ \dot{\phi}_t &= -n_z g / (v_t \cos \theta_t) \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{x}_t &= v_t \cos \theta_t \cos \phi_t \\ \dot{y}_t &= v_t \sin \theta_t \\ \dot{z}_t &= -v_t \cos \theta_t \sin \phi_t \end{aligned} \right\}; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} x_{T_t} &= x_{T(t-1)} + \int \dot{x}_t dt \\ y_{T_t} &= y_{T(t-1)} + \int \dot{y}_t dt \\ z_{T_t} &= z_{T(t-1)} + \int \dot{z}_t dt \end{aligned} \right\}. \quad (5)$$

### 2.4 发射时机解算

在图 2 中，防空导弹拦截来袭载机的时间为

$$t_{hf} = t_{D_2} + t_{r1} + t_{r2} + \Delta t_f \quad (6)$$

其中  $t_{D_2}$  为防空导弹与目标交汇的飞行时间。反辐射导弹摧毁防空武器系统的时间为

$$t_a = t_{D_1} + (\Delta t + t_1 + t_2 + t_3). \quad (7)$$

其中  $t_{D_1}$  为反辐射导弹至与目标交汇的飞行时间。

为保证地空导弹能抢先发射，同时又不被反辐射导弹损伤，则要求  $t_{hr} < t_a$ ；同理，要求反辐射导弹能抢先发射，同时载机又不被防空导弹损伤，则要求  $t_{hr} > t_a$ 。为保证抢先发射成功，需要留一定反应及二次抗击准备时间  $t_a - t_{hr} \geq \Delta\tau$ ，由此即可确定出地空阵地发射导弹的时机。

### 3 空地对抗过程仿真

假定以上各操作时间已知，分别就攻击机作等直平飞与水平方向作蛇形机动 2 种情况下进行仿真计算<sup>[5]</sup>。设定  $t_{r1} + t_{r2} + \Delta t_f = 15\text{ s}$ ， $\Delta t + t_1 + t_2 + t_3 = 19\text{ s}$ ，防空导弹位于坐标系原点，分别解算在防空导弹与来袭载机在不同斜距条件下的攻击用时。图 3 为载机位于(60 000, 10 000, 60 000) m，飞行速度  $v = 0.9\text{ Ma}$ ，作蛇形机动条件下地空导弹阵地与挂载反辐射弹的载机对抗过程，其机动过载控制如式(8)所示。分别计算不同斜距下的攻击用时，可得  $t_{hr}$  和  $t_a$  与  $D_s$  的关系和用时时间差，如图 4 所示。

$$\left. \begin{aligned} n_{yt} &= n_{Ty} \sin(0) \\ n_{zt} &= n_{Tz} \cos(0.2dt) \end{aligned} \right\}. \quad (8)$$

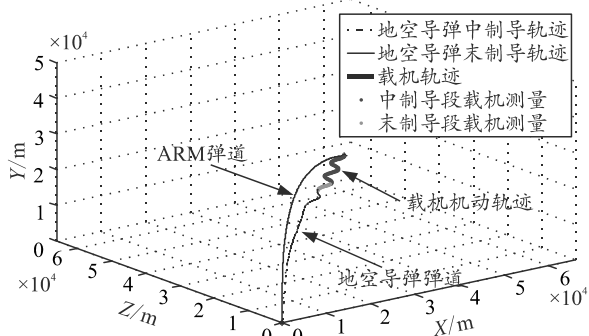


图 3 防空导弹与载机发射 ARM 对抗仿真

由图 4 可知：在文中采用的导弹武器系统仿真条件下，时刻载机与防空武器间斜距为 30 km 时为临界状态，此时载机和防空武器系统同时被击中；当二者距离为 30 km 以上时，防空导弹将提前击中 ARM；二者距离在 30 km 内时，ARM 将提前击中防空阵地雷达。为保证杀伤概率，并为二次抗击留

出时间窗口，结合提前击中时间可对武器系统的发射区结合操作，进一步优化武器发射区。

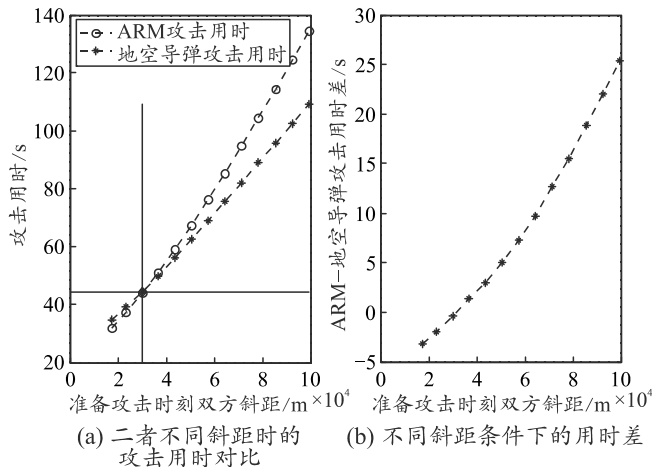


图 4 防空导弹与载机发射 ARM 攻击用时及用时差值

### 4 结束语

由于条件限制，笔者在解算时所用 ARM 为亚音速巡航导弹，没有考虑 ARM 与地空阵地间的电子对抗。若采用超声速巡航反辐射导弹，其攻击用时将会大幅缩短，需要重新解算发射时机。应用结果表明：该发射时机决策方法合理可行，可为武器装备作战使用提供参考。

### 参考文献：

- [1] 周颖, 甘德云, 许宝民. 反辐射武器攻防对抗理论与试验[M]. 北京: 电子工业出版社, 2012: 204-238.
- [2] 柳书高. 抗反辐射导弹技术研究及仿真[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [3] 张振中, 鲁艺, 张辉明, 等. 地空导弹拦截模型下无人机突防方向的研究[J]. 计算机仿真, 2016, 33(9): 113-117, 131.
- [4] 沈云涛. 反辐射导弹攻击方式和发射方式的研究[D]. 西安: 西北工业大学, 2000.
- [5] 周林, 赵杰, 娄寿春. 地空导弹弹道仿真模型[J]. 火力指挥与控制, 2006, 31(10): 69-72.
- [6] 耿杰恒, 陈汗龙, 崔龙飞. 地空导弹仿真建模中射击诸元计算模型研究[J]. 舰船电子工程, 2016, 36(10): 87-89.
- [7] 韩庆, 魏贤智, 张斌, 等. 远距引导战斗机自动攻击控制律实现[J]. 电光与控制, 2012, 19(6): 36-40.