

### 3 缠斗式空雷杀伤拦截战法

#### 3.1 关于空雷无人机结构功能的主要设想

##### 3.1.1 空雷无人机的功能设想

###### (1) 基础的光电探测功能

同撞击无人机一样,空雷无人机要完成对空中运动目标的精准投弹,必须具备依靠自身获取目标无人机信息的功能,而为了控制无人机成本,考虑采用光电探测载荷实现。主要包括:可见光探测功能(用于昼间对目标无人机成像,以及对特定的目标部位进行跟踪瞄准)、红外探测功能(用于夜间对目标无人机成像,以及对特定的目标部位进行跟踪瞄准)、激光测距功能(用于完成敌我相对距离、相对方位测量,支撑投弹控制回路的定量解算)。

###### (2) 特殊的空雷杀伤及自我防护功能

为实现对目标有效的空雷杀伤、减少伤敌时的自身受损,一是弹药本身的毁伤范围既要足以有效杀伤敌机、又要不足以对空雷无人机损伤,二是单架空雷杀伤无人机能够带多枚弹药,可以依次对多个目标进行毁伤,三是由于弹药无动力投放,易受当地风速影响,为增强毁伤目标的成功率,应当具备测风功能,四是空雷无人机自身需具备一定的防护能力。主要包括:弹药的延时起爆功能、弹药的毁伤威力范围、空雷无人机(重点是机身腹部、机翼下方)结构加强。

##### 3.1.2 空雷无人机的结构设想

可在“基本型”侦察无人机基础上,通过加改装设计成为空雷无人机。

### (1) 大气测量装置结构

在结构组成上主要包括总压传感器、静压传感器、总温传感器、空速解算单元,以及防结冰的加温装置及其控制装置,根据测得的总压、静压、总温值,以及与空气密度、压缩性等相关的修正系数,能够解算得到真空速,再引入由飞控系统利用 GNSS 卫星定位信息或惯导信息解算得到的地速,二者相减即可得到当地风速。

为减少不良气动外形及其对飞行速度、机动性能的影响,可采用隐身飞机常用的共形传感器,如在机身侧面、机翼前缘等部位开孔。

### (2) 弹药结构

一是无动力飞行稳定结构(为控制成本,不装制导控制组件,即无动力非制导微小型炸弹):弹药被抛撒/投射出舱后,处于无动力飞行状态,应当具备飞行稳定性,可由安装在弹药尾部的多个片状尾翼实现。

二是引信结构:引信可采用固定延时引信,也可采用可编程延时引信,前者需要根据敌我相对速度、风速等精算空雷无人机的投弹路线与时机,后者则需要在机、弹之间增加通信连接。

三是战斗部结构:拟采用杀伤(利用破片、钢珠等毁伤)、爆破(利用炸药爆炸冲击波毁伤)相结合的战斗部,即杀爆型战斗部。

### (3) 抛撒/投射弹舱结构

一是多枚弹药舱结构:考虑到空雷无人机大长径比的外



形,拟采用前后并联式弹舱,可综合考虑需要在无人机内部占用体积的大气测量系统、飞控与导航系统、燃油系统、电池系统、视距/卫通链路设备等,以及为了提升毁伤概率,拟采用4并联弹舱,则4枚弹4次独立投射能够成功毁伤2个目标的概率可按下式计算(其中 $q$ 为单枚弹的命中概率,若 $q=0.5$ ,则 $p=0.6875$ ,若 $q=0.7$ ,则 $p=0.9163$ ):

$$p = \sum_{i=2}^4 \{C_4^i q^i (1-q)^{4-i}\}$$

二是抛撒/投射装置结构:抛撒/投射装置需要和飞机之间有控制信号的联接线路,此外,抛撒/投射装置可选用带助力的结构(为节约成本,可考虑采用简单的机械式弹簧,在抛撒/投射前闭锁,收到抛撒/投射指令后开锁),同时,在收到抛撒/投射指令时,应当先开弹舱、再控制抛撒/投射助力装置作动,以抛撒/投射弹药,经过特定延时后,关闭弹舱。

#### (4) 机身腹部与机翼下方结构加强

为应对弹药爆炸及毁伤敌机后碎片的冲击,应对空雷无人机进行结构加强。而由于投弹动作是由目标的后上方发起,因此需要对空雷无人机的机身腹部和机翼下方部位进行结构加强。

机身腹部:机身腹部应当采用硬度较高的材料,可以选配多层吸能材料防被击穿,进行结构加强设计。

机翼下方部位:机翼下方部位也应当采用硬度较高的材料,可以选配多层吸能材料防被击穿,进行结构加强设计。

(5) 关于发动机进气道安装位置  
为降低弹药毁伤产生的碎片被吸入发动机的可能，应将  
发动机进气道安装在机背上。

### 3.1.3 敌机受损的几种表现

(1) 敌机受弹药毁伤后，引发燃油起火进而爆炸  
评判标准：一是可观测到弹药起爆范围覆盖敌机；二是  
观测到敌机起火进而爆炸。

(2) 敌机受弹药毁伤后，无起火、爆炸，但因破片击  
穿或因冲击波冲击而破损/变形，伤及关键部位进而失控坠  
毁

评判标准：一是可观测到弹药起爆范围覆盖敌机；二是  
可观测到敌机有孔洞或机械变形；三是可观测到敌机失控不  
能正常飞行，很快呈现出快速下坠之势。

(3) 敌机受弹药毁伤后，无起火、爆炸，因破片击穿  
或因冲击波冲击而破损/变形，但未伤及关键部位，对飞控  
工作影响不大，敌机仍可继续飞行

评判标准：一是可观测到弹药起爆范围覆盖敌机；二是  
可观测到敌机有孔洞或机械变形；三是可观测到敌机仍能正  
常飞行。

(4) 外观无损伤，飞机飞行无异常

评判标准：一是可观测到敌机外观无明显损伤；二是可  
观测到敌机仍能正常飞行。

### 3.1.4 空雷无人机自身受损的几种等级

(1) 无损伤

评判标准：一次投弹打击任务完成后，空雷无人机除失去一枚弹药外，无其他损失。

#### (2) 微小受损

评判标准：一次投弹打击任务完成后，空雷无人机微小受损，完全不影响继续执行剩余弹药的投弹打击任务或其他任务。

受损情况可能包括：仅机身腹部、机翼下方等部位轻微擦伤或变形，对气动外形、飞机机动几乎无影响。

#### (3) 轻度受损

评判标准：一次投弹打击任务完成后，空雷无人机能够降级执行投弹打击任务（投弹打击的成功率将受到影响）或其他任务。

受损情况可能包括：机身/机翼外形受损发生变化，从而影响气动外形和飞机机动性能，但受损后对飞行控制的影响很小。

#### (4) 中度受损

评判标准：一次投弹打击任务完成后，空雷无人机能够继续飞行和适度机动，无法继续执行任务。

受损情况可能包括：机身/机翼外形受损变化明显，受损后对飞行控制的影响较大，飞机机动能力大幅削弱，或光电载荷受损失去作用。

#### (5) 重度受损

评判标准：一次投弹打击任务完成后，空雷无人机无法继续正常飞行。





受损情况可能包括：毁伤产生的碎片被吸入发动机造成发动机损毁失去动力，控制舵面等重要飞行部件损毁，机身/机翼被击穿而引发严重的气动外形变化，或致使内部关键设备（油箱、电池、视距/卫通链路设备、飞控/导航设备等）损毁。

### 3.1.5 关于空雷杀伤拦截效率（不低于 1:2）的说明

拦截效率不低于 1:2，具体到空雷无人机的设计指标中，即 1 架空雷无人机所携弹药，应具备至少击杀 2 架目标无人机的能力。

包含 2 个并列条件：一是空雷无人机损毁数量：目标损毁数量  $\geq 1:2$ ；二是实际实施投弹的空雷无人机（单架空雷无人机可携带 4 枚弹药），总的弹药消耗量：总的目标损毁数量  $\geq 4:2$ （即：4 枚/1 架:2 架）。

## 3.2 缠斗式空雷杀伤任务实施方法

### 3.2.1 缠斗式空雷杀伤策略

#### 3.2.1.1 目标易损性/弹药对目标的毁伤能力假设

假设所用弹药对于目标无人机的杀伤+爆破威力  $\leq 7m$ ，且简化地认为只要弹药在距目标任一部位 7m 范围内起爆，均能确保目标被毁伤而失能。

#### 3.2.1.2 目标分配

投弹任务的目标分配需基于目标阵位（主要是基于阵位中的目标纵向排列关系）而定，主要区分 2 大类情况：

（1）一般情况下的目标分配

一般情况下，当敌群在其运动平面上平铺展开/近似平

铺展开时（敌群内各目标无人机近似位于同一平面/高度差较小，且该平面与敌群航向平行/近似平行）或分布在多个平面上铺展开时，针对敌群中的各个目标敌机。

此种情况下，投弹后的毁伤情况对空雷无人机影响较小，可按最低 1:2 的比例（理想条件下，目标无人机的每一纵列均包含偶数个无人机，则可实现 1:2 的比例，其余情况下需增配空雷无人机），分配空雷无人机、目标无人机，每架空雷无人机负责 2 架目标无人机（增配的空雷无人机负责 1 架目标无人机）。如图所示：

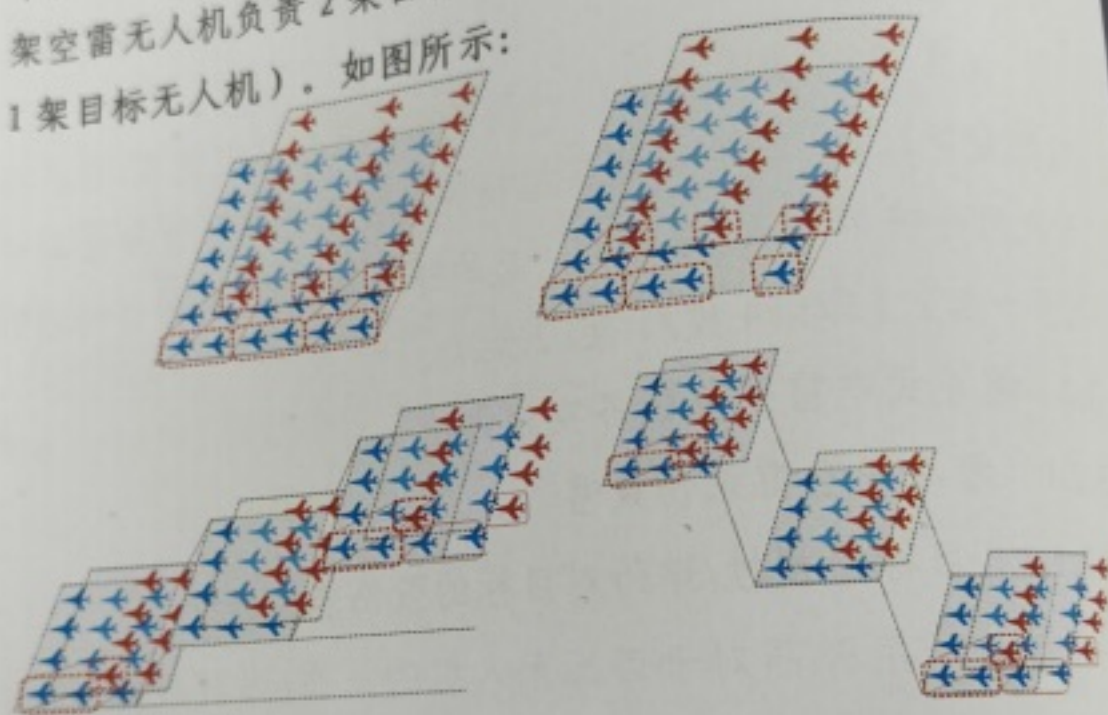


图 一般情况下的目标分配示意

## （2）特殊情况下的目标分配

此种情况下，需按 1:1 比例等量出动空雷无人机，每架空雷无人机负责 1 架目标无人机。



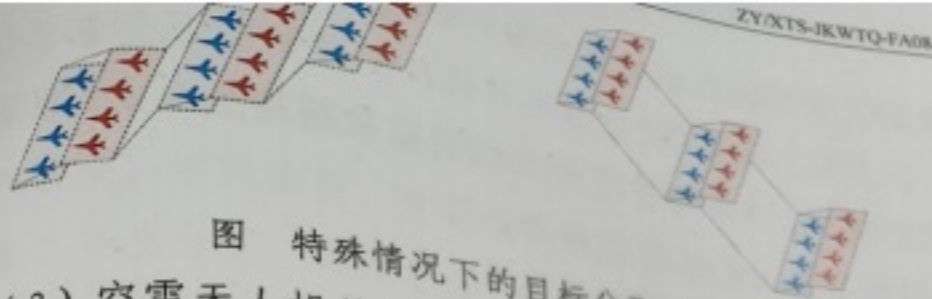


图 特殊情况下的目标分配示意

### (3) 空雷无人机的初始出动数量

按上述情况的最高比例，即按对目标数量 1:1 的比例等量出动空雷无人机，最终负责实施投弹任务的空雷无人机数量，应视实施投弹任务前的目标无人机阵位而定。

#### 3.2.1.3 投弹策略

##### (1) 同时发起投弹

参与投弹任务的所有空雷无人机，根据敌群阵位和目标分配方案，调整好自身阵位后，向各自所负责的第 1 个目标（或唯一目标），同时发起投弹攻击。

##### (2) 双目标攻击依次实施

仅负责 1 个目标的空雷无人机完成投弹攻击后，执行投弹后的规避策略，负责 2 个目标的空雷无人机，在完成第一个目标的投弹攻击后，继续对第 2 个目标进行投弹攻击。

#### 3.2.2 召唤引导空雷无人机

类似 1.1.2 节“召唤引导撞击无人机”，伴随侦察无人机将空雷无人机群召唤至敌群后方附近，直至空雷无人机群能够依靠自身携带的光电探测载荷稳定且准确获取敌群信息。同步地，在召唤引导过程中，空雷无人机群根据敌群阵位信息调整自身阵位，使得便于占领投弹任务的发起阵位。



### 3.2.3 空雷无人机自主引导

类似 1.1.3 节“撞击无人机自主引导”。区别在于，经目标分配后，多余的空雷无人机留在敌群尾后上方（即跟随在伴随侦察无人机后方）待命。

### 3.2.4 空雷无人机自主攻击

当空雷无人机群（经自主引导或跳过自主引导阶段），能够识别目标无人机的特征部位时，空雷无人机群进入自主攻击阶段。自主攻击阶段的目的是，空雷无人机群以合适的相对速度、相对高度，准确掠过目标无人机的预定部位、并在适当时机投放弹药，从而使弹药在距目标有效杀伤距离能起爆，进而使目标损毁和失能。具体攻击方法，详见 3.3 节“基于空中动目标相对位置高精度估计的无动力弹药投射火力控制”。

### 3.2.5 弹药毁伤效果评估

类似 1.1.4 节“撞击毁伤效果评估”，以第一视角记录投弹毁伤的过程信息，配合伴随侦察无人机完成弹药毁伤效果评估。

## 3.3 基于空中动目标相对位置高精度估计的无动力弹药投射火力控制

基于 1.3 节“空中动目标相对位置高精度估计”方法，可以实现无动力弹药的精准投射火力控制，主要包括：接近控制、投弹控制。

### 3.3.1 关于投弹时机的考虑

#### 3.3.1.1 平飞无风时投弹的运动学分析

弹药离机后，以一定初速无动力飞行，在空中受力主要有2个：重力、空气阻力。其中，重力始终竖直向下，与弹药质量相关，可看作固定值；空气阻力与弹药速度方向相反，与空气密度、迎风面积、弹药瞬时速度等相关，可分解为水平分量、竖直分量。如图所示：



图 平飞无风时投弹示意

空气阻力的计算公式为：

$$|\vec{f}| = \frac{1}{2} \rho S C (\vec{v})^2, \text{ 方向与 } \vec{v} \text{ 相反}$$

对于上述平飞无风的投弹情况，可将弹药的运动仅限定在竖直、水平2维，根据空气阻力计算公式，可得其运动学方程如下：

水平方向（按我军使用的坐标系习惯，机头方向为正）：

$$m \cdot a_1 = -\vec{f}_1 ; |\vec{f}_1| = \frac{1}{2} \rho S C |\vec{v}_1| \cdot |\vec{v}|$$

竖直方向（按我军使用的坐标系习惯，向上为正）：

$$m \cdot a_2 = -mg + \vec{f}_2 ; |\vec{f}_2| = \frac{1}{2} \rho S C |\vec{v}_2| \cdot |\vec{v}|$$



其中,  $a_1$ 、 $a_2$  分别为水平方向、竖直方向加速度,  $S$  弹药迎风面积 (因弹药姿态随时间变化, 此处应为瞬时面积),  $\vec{v}$  为弹药速度矢量 (瞬时速度),  $\vec{v}_1$ 、 $\vec{v}_2$  分别为弹药在水平方向、竖直方向的速度分量 (瞬时速度分量, 矢量),  $\rho$  为空气密度,  $C$  为空气阻力系数,  $g$  为重力加速度。从而有:

$$\text{水平方向弹药加速度: } a_1 = -\frac{1}{2m} \rho S C |\vec{v}_1| \cdot |\vec{v}|$$

$$\text{竖直方向弹药加速度: } a_2 = -g + \frac{1}{2m} \rho S C |\vec{v}_2| \cdot |\vec{v}|$$

因此, 在已知弹药水平方向、竖直方向初速度的条件下, 通过数值积分, 可递推求得弹药的速度变化规律、位移变化规律, 从而推算得到完整的弹道轨迹。

若给定法向距离差/高度差  $h$  (平飞时, 法向距离差即高度差, 为表述更形象更方便, 后续使用“高度差”)、相对速度  $\Delta \vec{v}$ 、初速度  $\vec{v}_0$  (若弹药出舱无助力则初速度同空雷无人机速度, 若弹药出舱前有抛撒/投射机构的助力, 则应加上助力后的速度矢量, 此时  $\Delta \vec{v}$  也需重新计算), 则可推算得到弹药在竖直方向的运动用时, 由于竖直运动用时等于水平运动用时, 从而可推算得到弹药在水平方向的运动距离, 则进一步减去目标匀速直线运动距离, 即为投弹时的水平相对距离  $s$ 。

同理, 若给定投弹时的水平相对距离  $s$ 、相对速度  $\Delta \vec{v}$ , 则可推算得到弹药在水平方向的运动用时, 由于竖直运动用时等于水平运动用时, 从而可进一步推算得到弹药在竖直方向的运动距离, 也即投弹时的高度差  $h$ 。

3.3.1.2

一般情况下，由于风的存在（风速矢量 $\bar{v}_f$ ，其在前后方  
 竖直方向、侧向方向的分量分别记作 $\bar{v}_{f1}$ 、 $\bar{v}_{f2}$ 、 $\bar{v}_{f3}$ ，且  
 弹道时间较短、空间较小，可将风速看作局部不变风  
 ，弹药离机后，还可能存在侧向运动，因此，空雷无人  
 目标无人机除高度差 $h$ 和水平面的前后相对距离 $s$ 外，还  
 水平面上保持一定的侧向相对距离 $z$ 。

弹药离机后，以一定初速无动力飞行，在空中受力仍仅 2 个：重力、空气阻力。其中，重力始终竖直向下，与质量相关，可看作固定值；空气阻力与弹药速度方向相反，与空气密度、迎风面积、弹药瞬时速度等相关，可分解为 3 个分量：前后分量  $\vec{f}_1$ 、竖直分量  $\vec{f}_2$ 、侧向分量  $\vec{f}_3$ 。如图 1-1-1 所示：

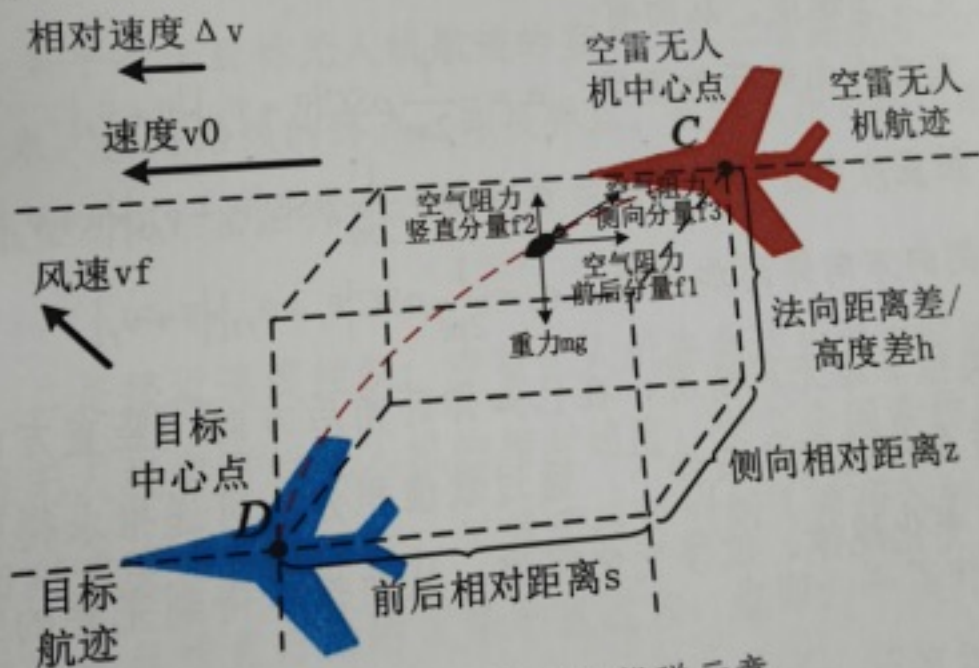


图 一般情况下投弹示意

图 一般情况下投弹示意图

对于上述一般投弹情况, 弹药的运动可分解为竖直、前后、侧向 3 维, 根据空气阻力计算公式, 可得其运动学方程



如下:

前后方向 (按我军使用的坐标系习惯, 机头方向为正):

$$m \cdot a_1 = -\bar{f}_1; |\bar{f}_1| = \frac{1}{2} \rho S C |\bar{v}_1 + \bar{v}_{f1}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

竖直方向 (按我军使用的坐标系习惯, 向上为正):

$$m \cdot a_2 = -mg + \bar{f}_2; |\bar{f}_2| = \frac{1}{2} \rho S C |\bar{v}_2 + \bar{v}_{f2}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

侧向方向 (按我军使用的坐标系习惯, 机身右侧为正):

$$m \cdot a_3 = \bar{f}_3; |\bar{f}_3| = \frac{1}{2} \rho S C |\bar{v}_3 + \bar{v}_{f3}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

其中,  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$  分别为水平方向、竖直方向加速度,  $S$  弹药迎风面积 (因弹药姿态随时间变化, 此处应为瞬时面积),  $\bar{v}_f$  为风速矢量,  $\bar{v}$  为弹药速度的大小 (瞬时速度),  $\bar{v}_1$ 、 $\bar{v}_2$ 、 $\bar{v}_3$  分别为弹药在前后方向、竖直方向、侧向方向的速度分量 (瞬时速度分量),  $\rho$  为空气密度,  $C$  为空气阻力系数,  $g$  为重力加速度。从而有:

$$\text{前后方向弹药加速度: } a_1 = -\frac{1}{2m} \rho S C |\bar{v}_1 + \bar{v}_{f1}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

$$\text{竖直方向弹药加速度: } a_2 = -g + \frac{1}{2m} \rho S C |\bar{v}_2 + \bar{v}_{f2}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

$$\text{侧向方向弹药加速度: } a_3 = \frac{1}{2m} \rho S C |\bar{v}_3 + \bar{v}_{f3}| \cdot |\bar{v} + \bar{v}_f|$$

类似 2 维无风情况, 在已知弹药前后方向、竖直方向、侧向方向初速度的条件下, 通过数值积分, 可递推求得弹药的速度变化规律、位移变化规律, 从而推算得到完整的弹道轨迹。

若给定高度差  $h$ 、相对速度  $\Delta \bar{v}$ 、初速度  $\bar{v}_0$  (若弹药出舱无助力则初速度同空雷无人机速度, 若弹药出舱前有抛撒/

投射机构的助力,则应加上助力后的速度矢量,此时 $\Delta v$ 也需重新计算),则可推算得到弹药在竖直方向的运动用时,由于竖直运动用时、前后运动用时、侧向运动用时3者相等,从而可推算得到弹药在前后方向、侧向方向的运动距离,结合目标匀速直线运动的距离、当地风速,即可得到投弹时的前后相对距离 $s$ 、侧向相对距离 $z$ 。

同理,若给定投弹时的水平相对距离 $s$ 、相对速度 $\Delta v$ 、初速度 $v_0$ ,则可推算得到 $h$ 、 $z$ ;若给定投弹时的水平相对距离 $z$ 、相对速度 $\Delta v$ 、初速度 $v_0$ ,则可推算得到 $h$ 、 $s$ 。

### 3.3.2 接近控制

接近控制的目的有2个:

一是接近路线控制:若目标无人机保持固定航向(风速一定时,航迹为直线),则空雷无人机接近路线的末段,也是一条平行于目标无人机航迹的直线,且二者高度差始终保持 $h$ 米。接近路线的终点,即投弹点,投弹点距目标的距离,在竖直方向、前后方向、侧向方向的分量,即3.3.1节所述的 $h$ 、 $s$ 、 $z$ 。

二是接近速度控制:空雷无人机在到达投弹点的时刻,空雷无人机与目标无人机的相对速度,受2个因素约束:一是相对速度差不宜过大,以便于投弹控制(弹药入射角,即入射方向与竖直方向的夹角不宜过大,也即:平飞时,弹药投放后与目标的间距,相对于与目标高度差,不宜过大);二是相对速度差不宜过小,应当确保在相对高度 $h$ 米的条件下,空雷无人机能够在弹药起爆前脱离弹药的杀伤范围。因



此, 须满足如下关系:

弹药入射角不宜小于  $30^\circ$  (假定条件, 未经实际验证):

$$\frac{h}{\sqrt{h^2 + s^2 + z^2}} \geq \frac{1}{2}$$

弹药起爆前, 空雷无人机已脱离弹药杀伤范围 (7m):

$$\sqrt{(\Delta v \cdot t - s)^2 + h^2 + z^2} \geq 7, \text{ 其中, } t \text{ 为弹药投放至起爆用时.}$$

### 3.3.2.1 接近路线控制

与物理撞击不同的是, 空雷杀伤具有不必实现精准碰撞、而可以依靠弹药杀伤范围进行概略控制的优点, 再加上空雷无人机的弹药舱就在机身内部、空雷无人机的机身直径不大, 因此, 弹药出舱时的位置与无人机的中心点相距较近, 从而, 空雷无人机接近路线控制的对象, 可以简化地看作就是空雷无人机的中心点。空雷无人机投弹前的接近路线如图所示:

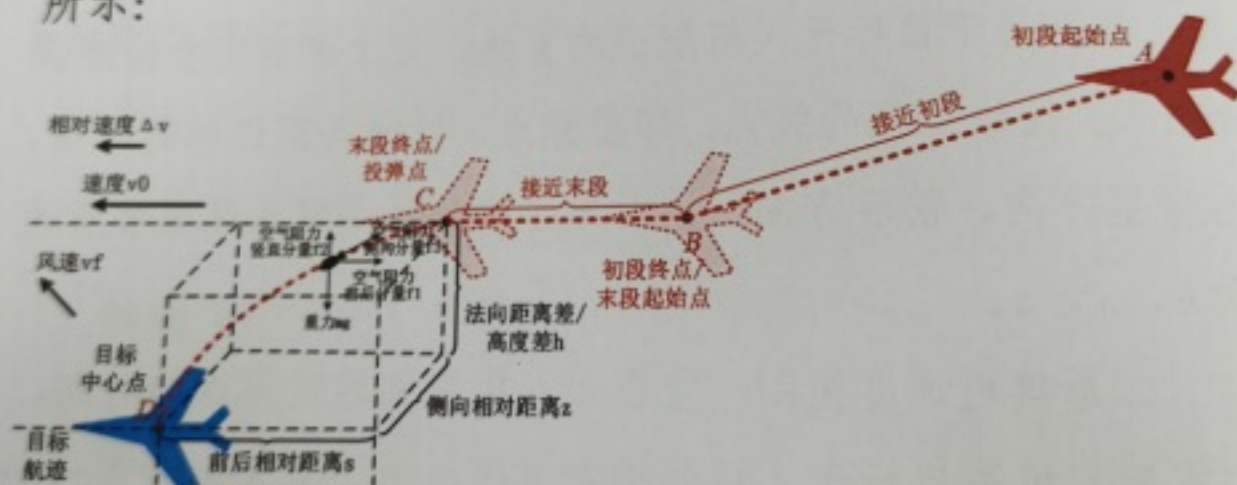


图 空雷无人机接近路线 (红色虚线) 示意

投弹点 C 的位置: 在假设目标匀速直线运动的条件下, 可将目标无人机看成静止, 在风速  $v_f$  条件下, 空雷无人机以相对速度  $\Delta v$  追击 (速度  $v_0$ ), 给定一个条件 ( $h$ 、 $s$ 、 $z$  的其中之一, 或与之相关的变量), 即可根据  $h$ 、 $s$ 、 $z$  之间的关

系,推算出投弹点 C 的位置(即投弹时,相对于目标中心点的 3 轴位置)。

投弹对准点 B 的位置:在假设由 B 点开始,空雷无人机速度由  $v_b$  做匀变速运动,至 C 点时速度为  $v_0$ ,且 BC 接近路线末段用时为  $t_{bc}$ (以 1s-2s 为宜,假定值,未经实际飞行验证),则 BC 间距离为:

$$BC = 2v_b - \frac{1}{2} \left( \frac{v_b - v_0}{2} \right) \times t_{bc}^2 = v_b + v_0$$

接近路线初段:根据 B 点位置(由投弹点 C 的位置、BC 间距得到)、末段用时  $t_{bc}$  的要求,空雷无人机由初始点 A 开始调整航向、速度,按时以速度  $v_b$  到达 B 点。

### 3.3.2.2 接近速度控制

接近路线终点(投弹点)C 速度控制:通过控制空雷无人机的速度,使其与目标无人机的相对速度,达到相对速度  $\Delta v$ (速度  $v_0$ )。

接近路线末段(BC 段)速度控制:通过控制空雷无人机的速度,使其与目标无人机的相对速度,由到达 B 点时的相对速度,逐渐调整为  $\Delta v$ ,调整用时  $t_{bc}$  应控制在 1s-2s 为宜(假定值,未经实际验证)。

投弹对准点(B 点)速度控制:为确保能够在接近路线末段(BC 段)按时完成速度控制,要求空雷无人机到达投弹对准点(B 点)时的相对速度不宜过大,否则很难在  $t_{bc}$ (1s-2s 内)调整至  $\Delta v$ ,具体在到达 B 点时的相对速度,应根据空雷无人机的机动性能确定。



接近路线初段(AB段)速度控制:根据空雷无人机的机动性能、接近路线初段(AB段)的长度、到达投弹对准点(B点)时的相对速度要求,控制空雷无人机的速度。

### 3.3.3 投弹控制

投弹控制并非只发生在投弹瞬间,还包括投弹前准备(又分为弹药准备、投放机构准备)和投弹动作(又分为开舱、投弹、关舱)

#### 3.3.3.1 投弹前准备

##### (1) 弹药准备

弹药投放前需完成的准备工作主要包括:按顺序选择第 $\times$ 枚弹药,第 $\times$ 枚弹药完成自检,第 $\times$ 枚弹药弹上电池激活,重新装订引信延时(如果需要),引信起爆机构进入工作时序等。

##### (2) 投放机构(含弹舱开关机构)准备

弹药投放前需投放机构需完成的准备工作主要包括:按顺序选择第 $\times$ 枚弹药对应的投放机构,选定的投放机构完成自检。

#### 3.3.3.2 投弹

##### (1) 开舱

由投放机构完成开弹舱的动作(在设计上可能包括舱门解锁、电动开舱等动作)。

##### (2) 投弹

由投放机构完成作动动作释放弹药(在设计上可能包括弹药止动部件解锁、释放弹药等动作)

### (3) 关舱

由投放机构完成关弹舱的动作（在设计上可能包括电动关舱门、舱门锁止等动作）。

#### 3.3.4 弹药起爆

##### 3.3.4.1 弹药无动力飞行

弹药出舱后，以一定初速度，在重力、空气阻力作用下，在尾翼稳定作用下，无动力飞向目标。

##### 3.3.4.2 延时起爆

通常，根据 3.3.1 节计算弹道所得到的弹药飞行用时，提前向弹上引信装订起爆延时时间，也可设计由空雷无人机根据需要在发射前的弹药准备阶段，重新装订起爆延时时间。弹药按规定的延时时间起爆，毁伤目标。

### 3.4 投弹后控制策略

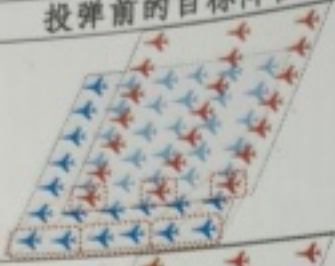
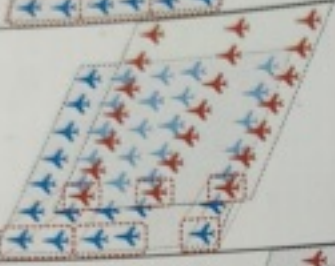
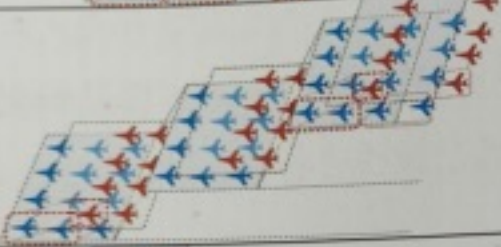
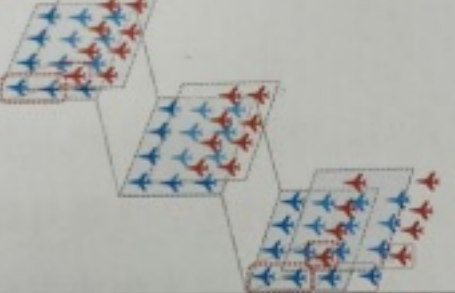
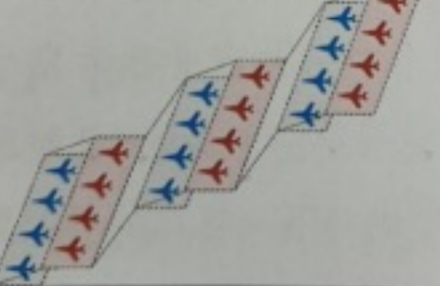
#### 3.4.1 投弹后的规避策略

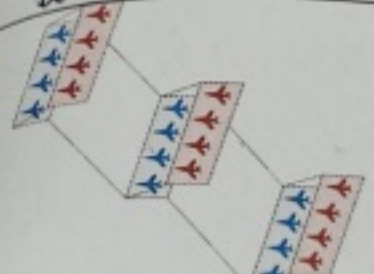
虽然空雷无人机单次投放弹药后，待弹药起爆时，空雷无人机已脱离弹药毁伤范围，但此处讨论的是空中群对群作战。弹药起爆后，除了弹药起爆产生的杀伤破片和冲击波，目标无人机也会因受毁伤而产生各类碎片或受损后发生不规则运动，因此，空雷无人机还需要规避空中其他“危险源”，甚至在规避“危险源”的同时，完成对下一目标的投弹毁伤任务。

为减小空雷无人机被误伤的影响，同时提升空雷无人机执行后续任务的能力，应当预置一定的脱离策略，由于投弹毁伤后的战场不可预知，故根据投弹前的敌群阵位预置脱离



策略，如下表所示：

表 基于投弹前目标阵位的投弹后脱离策略	投弹后的脱离策略
<p>投弹前的目标阵位</p> 	<p>空雷无人机继续完成对下一既定分配目标的投弹毁伤，待完成后，向前上方脱离</p>
	<p>分配有 2 个目标的空雷无人机，继续完成对下一既定分配目标的投弹毁伤，待完成后，向前上方脱离 仅分配 1 个目标的空雷无人机，向前上方脱离</p>
	<p>分配有 2 个目标的空雷无人机，继续完成对下一既定分配目标的投弹毁伤，待完成后，向前上方脱离 仅分配 1 个目标的空雷无人机，向前上方脱离</p>
	<p>分配有 2 个目标的空雷无人机，继续完成对下一既定分配目标的投弹毁伤，待完成后，向左、右两侧加速脱离 仅分配 1 个目标的空雷无人机，向前左、右两侧脱离</p>
	<p>继续平飞</p>

投弹前的目标阵位	投弹后的脱离策略
	向左下、右下加速脱离
假设弹药毁伤后的目标、各类碎片、受损的目标无人机，其水平运动状态为：有初速无动力滑行；其垂直运动状态为：有初速自由落体	

### 3.4.2 不同受损情况下的投弹后控制策略

#### 3.4.2.1 无损伤情况下的投弹后控制策略

此种情况下，空雷无人机具备继续执行任务的能力，若空雷无人机已完成对所有负责的目标的投弹毁伤任务，则控制空雷无人机按 3.4.1 节的规避策略规避。当伴随侦察无人机发现有残余未能被毁伤的敌方无人机时，继续控制此类空雷无人机执行新的投弹任务。

#### 3.4.2.1 微小受损情况下的投弹后控制策略

此种情况下，空雷无人机具备继续执行任务的能力，若空雷无人机已完成对所有负责的目标的投弹毁伤任务，则控制空雷无人机按 3.4.1 节的规避策略规避。当伴随侦察无人机发现有残余未能被毁伤的敌方无人机时，继续控制此类空雷无人机执行新的投弹任务。

#### 3.4.2.2 轻度受损情况下的投弹后控制策略

此种情况下，由于用于空雷无人机的关键部位受损，无法再执行投弹毁伤任务，但可降级执行其他任务，如作为通信节点使用等。此时，应首先控制空雷无人机按 3.4.1 节的规避策略规避，然后，再控制其执行降级使用的任务。