

近路线末段)完成相对速度调整,确保在撞击起点C处达到最佳撞击相对速度。

1.4.1.2 接近速度控制

(1) 尾后正向接近速度控制

接近路线终点(撞击起点)C速度控制:通过控制撞击无人机的速度,使其与目标无人机的相对速度,达到最佳撞击相对速度。

接近路线末段(BC段)速度控制:通过控制撞击无人机的速度,使其与目标无人机的相对速度,由到达B点时的相对速度,逐渐调整为最佳撞击相对速度,调整用时应控制在1s-2s为宜(见1.2.1.1小节)。

撞击对准点(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,要求撞击无人机到达撞击对准点(B点)时的相对速度不宜过大,否则很难在1s-2s内调整至最佳撞击相对速度,具体在到达B点时的相对速度,应根据撞击无人机的机动性能确定。

接近路线初段(AB段)速度控制:根据撞击无人机的机动性能、接近路线初段(AB段)的长度、到达撞击对准点(B点)时的相对速度要求,控制撞击无人机的速度。

(2) 尾后斜向接近速度控制

同“尾后正向接近速度控制”。

1.4.2 撞击控制

1.4.2.1 接触前控制

接触前,控制撞击无人机按最佳相对速度、沿撞击段路

线（匀速直线运动），撞向目标无人机，接触瞬间的理想效果是：相对速度为最佳撞击相对速度、撞击无人机的专用撞击装置中心点与目标无人机机翼后缘中心点重合。

重要地，在撞击无人机进入撞击段路线后，须立即放下专用撞击装置。

1.4.2.2 接触期间控制

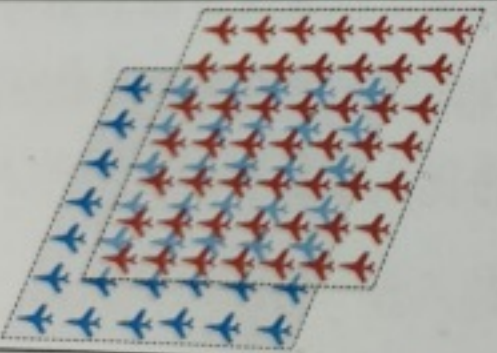
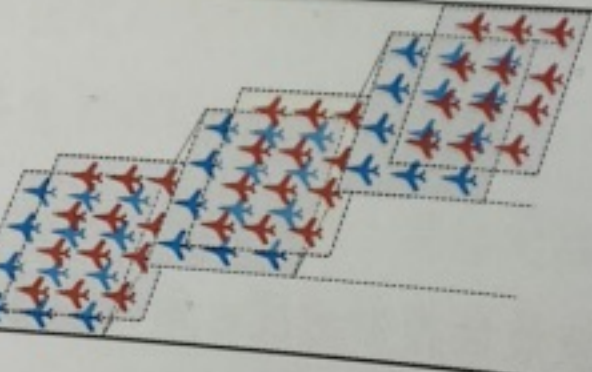
在撞击无人机接触到目标无人机的瞬间，可以控制撞击无人机加速飞行，以取得更大的毁伤效果。

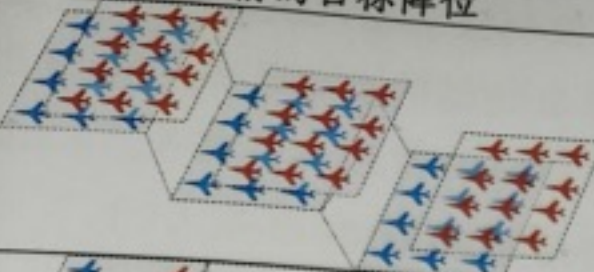


1.5 撞击后控制策略

1.5.1 撞击后的脱离策略

撞击后，撞击无人机、目标无人机会产生各类碎片，以及受损后不规则运动的无人机，要使撞击后仍具有飞行能力的撞击无人机不受其影响、完好脱离战场，应当预置一定的脱离策略，由于撞击后的战场不可预知，故根据撞击前的敌群阵位预置脱离策略，如下表所示：

表 基于撞击前目标阵位的撞击后脱离策略

撞击前的目标阵位	撞击后的脱离策略
	区分前、后 2 个区域： 靠前的：大俯角向前下方加速飞行，一定时间后改平飞行 靠后的（若按靠前区域的策略，则撞击无人机二次受损的风险增加）：分左右，大俯角分别向前左下、前右下加速飞行，一定时间后改平飞行
	每一层靠前的：向前下方小俯角加速飞行，一定时间后改平（改平时机需根据层间高度差、俯冲速度垂直分量的关系设置） 每一层靠后的：分别向前左下、前右下，小俯角加速飞行，一定时间后改平飞行

撞击前的目标阵位	撞击后的脱离策略
	分别向前左下、前右下，大俯角加速飞行，一定时间后改平飞行
	分别向前左下、前右下，大俯角加速飞行，一定时间后改平飞行
	继续平飞
假设撞击后的目标、各类碎片、受损的撞击无人机，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	

1.5.2 不同受损情况下的撞击后控制策略

1.5.2.1 微小受损情况下的撞击后控制策略

此种情况下，撞击无人机具备继续执行任务的能力，应控制撞击无人机通过升高度、加/减速度的方式，使其不受撞击战场的负面影响。当伴随侦察无人机发现有残余未能被撞毁的敌方无人机时，继续控制此类撞击无人机执行新的撞击任务。

1.5.2.2 轻度受损情况下的撞击后控制策略

此种情况下，由于用于撞击或引导撞击的关键部位受损，无法再执行撞击任务，但可降级执行其他任务，如作为

通信节点使用等。此时,应首先控制撞击无人机通过升高度、加/减速度的方式,使其不受撞击战场的负面影响,然后,再控制其执行降级使用的任务。

1.5.2.3 中度受损情况下的撞击后控制策略

此种情况下,撞击无人机仅能维持基本的飞行和简单轻微的机动,此时,重点是尽量保存撞击无人机,使其能够飞回本场进行回收,以便进一步修复或改装后使用。

1.5.2.4 重度受损情况下的撞击后控制策略

此种情况下,撞击无人机无法继续飞行,因此,放弃对其进行撞击后控制。

1.5.3 针对残余目标的再次撞击策略

第一波次撞击任务完成后,若伴随侦察无人机发现有残余目标未能被成功摧毁,应组织存活且能够执行任务的撞击无人机,对残余目标实施进一步的撞击。

此时,应根据残余目标的阵位关系,重新进行目标分配、执行同时撞击策略,并按1.2节的实施方法组织撞击任务。若再次撞击仍有残余目标,则继续组织下一波撞击任务,直至没有残余目标为止。

2 紧咬式电子干扰拦截战法

2.1 关于干扰无人机结构功能的主要设想

2.1.1 干扰无人机的功能设想

(1) 基础的光电探测功能

干扰无人机要完成对空中运动目标的干扰毁伤,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,支撑干扰控制回路的定量解算)。

(2) 特殊的空中干扰及自我防护功能

考虑到干扰无人机体积与功率的限制,将干扰手段设定为通信干扰(为减小体积重量和供电消耗,只干不侦,即:只配装发射机、不配装接收机)、卫星导航干扰。为实现对目标的有效干扰、减少干扰时的自身受损、友机受损:一是由于敌方具体通信频点未知,应使通信干扰毁伤频段覆盖通信常用的 V/U 段、L 段,且由于敌我相距较近,不需要太大的功率即可保证干扰作用距离和范围能够有效覆盖敌机(理论上,在自由空间传播条件下,干扰功率与干扰作用距离的平方成反比,即:距离增加 1 倍,功率需增加至 4 倍;反之,距离缩短 1 倍,功率可减少为 1/4);二是施放通信干扰时,应避免对干扰无人机和侦察无人机的群内机间通信和空地

通信造成影响；三是卫星导航干扰应具备对目前全球3大在用卫导信号（GPS、北斗、格洛纳斯）的干扰功能。主要包括：通信干扰功能、卫星导航干扰功能、干扰波束指向调节控制功能、干扰功率调节控制功能，以及在施放干扰时跳过己方通信频点（群内机间通信、空地通信）的功能。

2.1.2 干扰无人机的结构设想

可在“基本型”侦察无人机基础上，通过加改装设计成为干扰无人机。

（1）机身（含机翼）下方安装天线组

由于干扰天线需要覆盖V/U段、L段，应采用不同尺寸的天线发射干扰电磁波信号，天线组区分V/U段天线、L段天线、卫导天线（也是L段）。为保证干扰波束覆盖更多区域，每个波段天线也按多组设计。

在结构上，V/U段天线、L段天线、卫导天线，各包含2组天线，均按如下方式设计：一组天线（区分左下、右下）与机翼共形设计（各波段天线横向排列）、横向展开，确保该组天线发射的主瓣波束沿纵向向下方展开；另一组天线安装在机腹（区分左下、右下，各波段天线沿机腹两侧纵向排列）、纵向展开，也可采用共形设计以减小风阻，该组天线发射的主瓣波束沿横向向下方展开。

（2）机身内部包含天线选择器、通信干扰单元等设备

通信干扰单元主要由干扰控制单元、信号处理单元、多功能干扰源、上变频、射频分配、发射机等组成；天线选择器主要是开关网络，用于射频通道选择，使干扰信号经由不

同的天线辐射出去。

(3) 供电改装设计

为保证足够的干扰辐射功率, 应进行供电改装设计, 主要包括发电机 (引接发动机功率)、发电机控制器 (实现变压、稳压等)、电源控制器 (实现电源转换、分配与监测等) 以及应急蓄电池 (应急备份) 等电源系统, 以及用于配电的配电功率装置、用于传输电能的线束网络。

2.1.3 敌群无人机受损的几种表现

通信被压制中断后, 将导致测控中断、情报中断, 机群失去地面指挥、地面失去机群信息。此种情况下, 敌群只能按预先规划的航线继续飞行, 等待飞出干扰区重新通联, 而由于我方干扰机群始终紧咬不放, 使得敌群始终无法重新与后方指挥机构取得联系, 配合卫星导航干扰, 敌群无人机有以下 2 种表现:

(1) 通信中断+卫星导航被压制, 海上无参照物条件下, 定位误差逐渐增大

此种情况下, 敌群只能按纯惯飞行, 由于敌群各无人机所装载的惯导精度不会太高 (受体积、重量限制), 因而累积漂移误差较大, 在飞行数百公里抵达我海岸线后, 误差通常可达数公里甚至更高, 即使预置有地形匹配导航也无法使用, 从而无法达成其既定作战目的, 最终落得“自毁”的下场。或者敌群无人机预置有特殊的通信中断条件下的使用策略, 如: 长时间无法摆脱干扰则返航、长时间无法摆脱干扰则就近自主寻找识别目标实施攻击等, 如此则同样无法达成既定

作战目的。

(2) 通信中断+卫星导航被诱骗, 海上无参照物条件下, 可逐渐被骗坠海

由于卫星导航被诱骗且无法与后方取得通联, 此时敌群视错乱的定位信息为真, 将按我干扰诱骗意图, 逐渐改变航迹坠入大海/岛礁。

2.1.4 我方无人机受损的情况

理想情况下, 由于干扰无人机群整体位于敌群上方、干扰波束主要向下、我伴随侦察无人机群始终位于干扰无人机群上方、且施放干扰时已避开我方通信频点、我方干扰/侦察无人机群卫导可采用特殊的北斗军码, 从而我方干扰/侦察无人机群无受损情况。

2.1.5 关于干扰杀伤拦截效率(不低于 1:3)的说明

拦截效率不低于 1:3, 具体到干扰无人机的设计指标中, 即 1 架干扰无人机所能覆盖的干扰毁伤范围, 在敌群阵位为密集群的最大间距条件下(关于目标集群最大间距的假设见下一小节), 应具备至少覆盖 3 架目标无人机的能力。

2.2 紧咬式电子干扰任务实施方法

2.2.1 紧咬式电子干扰策略

2.2.1.1 关于干扰作用范围的假设

一般地, 为保证高亚音速飞行, 我方无人机配装的小型涡喷发动机输出功率可达数百 kw (推力高于 100kgf), 对比现行飞机利用发动机供电的比例, 数百 kw 的发动机输出功率, 机上用电在 10kw 以内可保证不影响全机正常运行,

假设干扰总功率 3kw, 其中, V/U 段通信干扰功率 1kw (横向、纵向平分功率, 左、右平分功率, 则单个天线辐射的主瓣波束功率 $> 250\text{w}$, 下同)、L 段通信干扰功率 1kw、卫星导航干扰功率 1kw。

(1) 干扰作用距离假设

根据现役空基通信干扰吊舱经验值和简化的理论换算 (按干扰功率与距离平方的反比关系), 即使保守估算, 上述干扰功率也可保证: 干扰机在距目标 5km 远处即可实现有效干扰。

(2) 干扰波束覆盖角度范围假设

由于 3 类干扰天线均在机身 (含机翼) 下方按横向、纵向以及左、右部署, 因此, 可认为干扰波束可实现对机身下方一个完全的圆锥体覆盖 (即机身向下投影点周围 360° 完全覆盖), 且假设圆锥体的圆锥角可达 120° 。

因此, 按照“拉网式迎头侦察”阵位设置中对目标阵位最大间距的假设值 (100m), 且敌群目标全部位于同一水平面时 (此时所需干扰无人机数量最多), 当干扰无人机位于目标集群上方 58m 时 ($100\text{m} \div \sqrt{3}$), 干扰波束可覆盖 5 架目标无人机。如图所示:

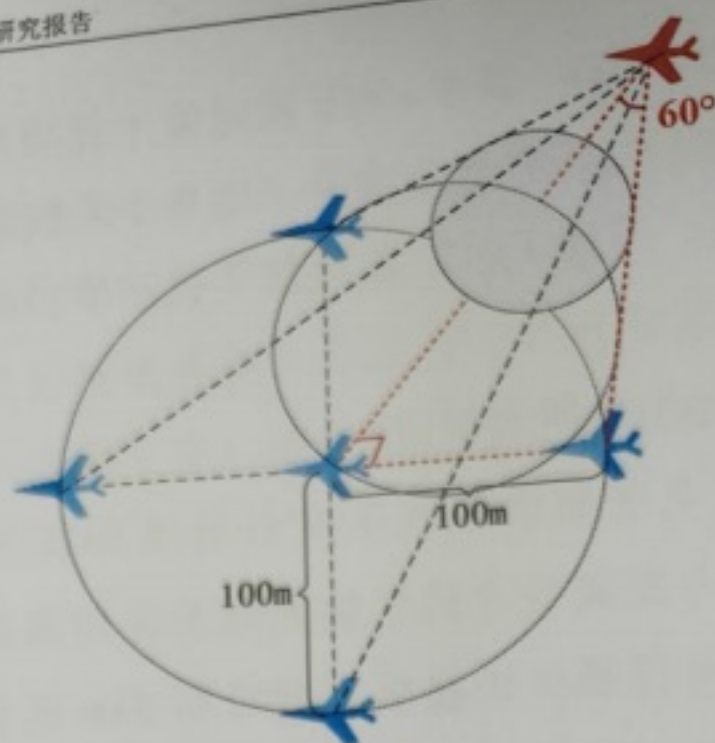


图 干扰波束覆盖范围示意

2.2.1.2 目标分配

(1) 目标分配原则：整体威力覆盖整个敌群且留余量
为确保干扰集群的整体干扰威力范围能够覆盖整个敌群，防止敌群进一步动作而出现短暂脱离干扰威力范围的情况，具体按以下 2 条原则：

一是适当增加干扰无人机数量，应使各干扰无人机的干扰威力范围之间，始终保持有相互交叠的部分；

二是应使干扰无人机开始出现干扰威力空隙的地方（当与干扰集群高度差小于一定值时，干扰威力圆锥角之间不再相互交叠，此时，当高度差进一步减小，则出现干扰威力空隙），与敌群保持一定高度差，使敌群始终位于多个干扰威力圆锥体集合的笼罩范围之内。

(2) 目标分配方案

由于干扰无人机的有效干扰距离较远，因此，只要考虑

敌群在航迹面（平飞时为水平面）上的总面积，然后按面积进行干扰区域划分，确保敌群内部间距最大、敌群位于同一平面内的情况下（此时所需干扰无人机数量最多），满足前述的“整体干扰威力覆盖整个敌群且留余量”的原则。

干扰无人机出动数量：按敌群最大数量 350 架，则所需出动的干扰无人机群最大数量为 117 架（按 1 架覆盖 3 架并留余量算），因此初始时按最大数量 117 出动干扰集群。

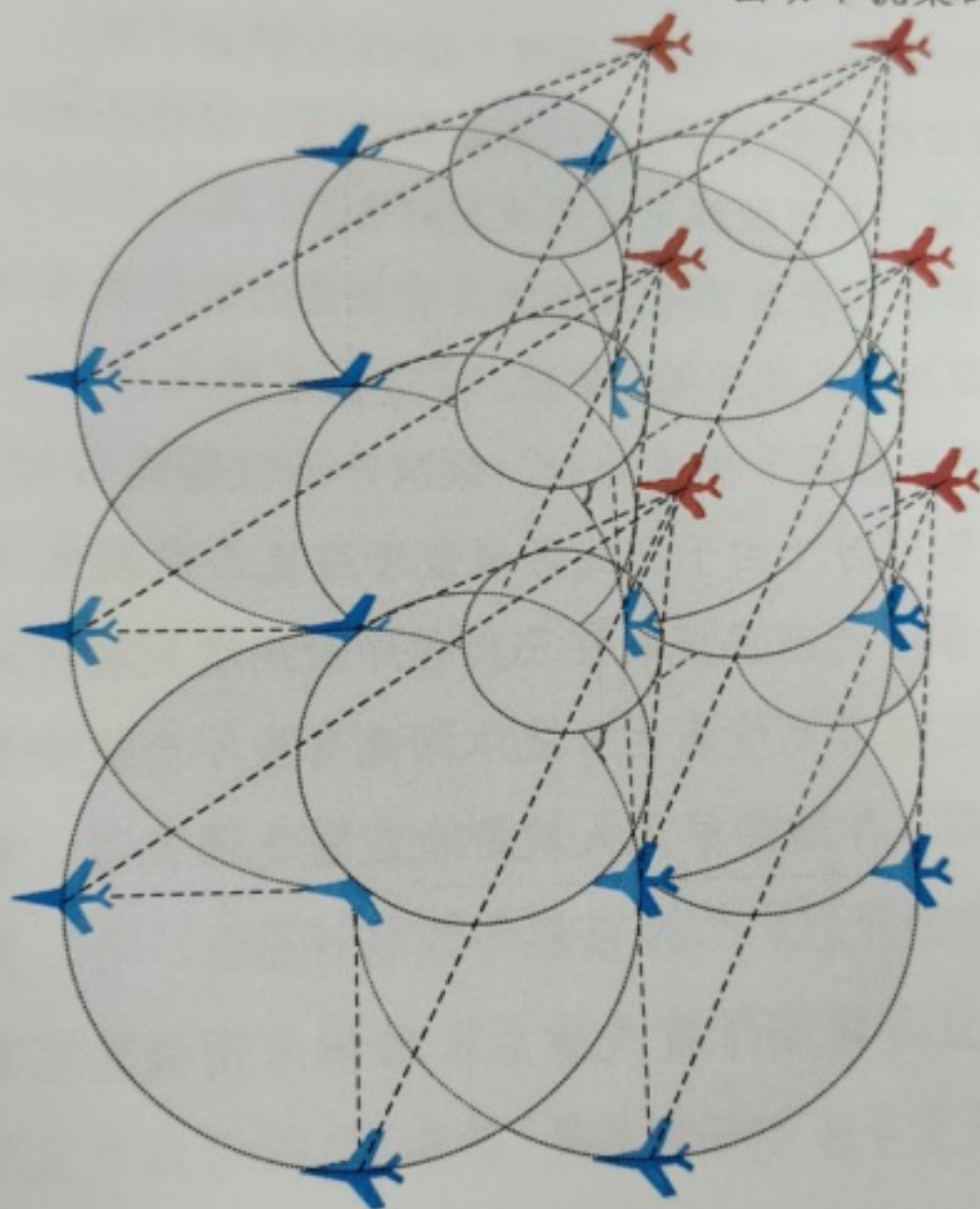


图 干扰分配方案示意图

实施干扰拦截数量：当伴随侦察无人机判明敌群具体阵位时，由于敌群阵位可能在不同高度上分布多个阵面且敌群

数量可能不足 350 架，则所需实施干扰拦截的无人机群数量可能远远少于 117 架，应视敌群数量和阵位的具体情况而定（例如：若敌群分 3 层、每层 100 架，则只要干扰威胁范围能覆盖最上层的 100 架敌群目标，即可同时覆盖下 2 层的敌群目标，按 1:3 测算，只需在出动的 117 架干扰无人机中选择 34 架实施干扰拦截即可）。

2.2.1.3 干扰策略

（1）优先采用通信压制干扰+卫导诱骗干扰

通信压制干扰可迫使敌群内部断网、空地不通，应持续开启使用，从而敌群无法形成集群合力。

卫导诱骗干扰由于其可能具有极佳的毁伤效果（可直接诱骗使目标无人机坠地/海），应优先采用。

当卫导诱骗干扰成功时，敌群开始被骗向目标岛礁/海域/地域坠落时（由于交战区域位于海上，敌群无法使用地形匹配导航，气压高度表在飞控程序做高度判决时通常优先级不高，无线电高度表由于成本问题可能不会被安装），干扰无人机群、伴随侦察无人机群也应随之降高度，确保持续对其实施有效干扰、以及侦察与毁伤评估。

（2）卫导诱骗干扰失效后，继续采用通信压制干扰的同时，改为卫导压制干扰

当卫导诱骗干扰失效后，应改为卫导压制干扰，此时可迫使目标无人机采用纯惯性飞行，目标无人机在惯导支持下，沿着误差越来越大的航线，向着误差更大的预定终点/任务点飞行。

目标无人机群纯惯性飞行时, 干扰无人机群、伴随侦察无人机群应始终紧跟目标无人机群, 确保持续对其实施有效干扰、以及察与毁伤评估。

2.2.2 召唤引导干扰无人机

类似 1.1.2 节“召唤引导撞击无人机”, 伴随侦察无人机将干扰无人机群召唤至敌群后方附近, 直至干扰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, 干扰无人机群根据敌群阵位信息调整自身阵位, 使得便于占领干扰任务的发起阵位。

2.2.3 干扰无人机自主引导

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, 多余的干扰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。

2.2.4 干扰无人机自主攻击

当干扰无人机群(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, 干扰无人机群进入自主攻击阶段。自主攻击阶段的目的是, 干扰无人机群以合适的相对速度、相对高度, 准确飞临并始终紧咬伴随于目标无人机上方的预定部位、并施放干扰, 从而使目标受扰失能/不能达成预定作战目的/坠海等。具体攻击方法, 详见 2.3 节“基于空中动目标相对位置高精度估计的通信与卫导干扰”。

2.2.5 干扰毁伤效果评估

类似 1.1.4 节“撞击毁伤效果评估”, 以第一视角记录干扰毁伤的过程信息, 配合伴随侦察无人机完成干扰毁伤效果

评估。

2.3 基于空中动目标相对位置高精度估计的通信与卫导干扰控制

基于 1.3 节“空中动目标相对位置高精度估计”方法，可以实现精准的通信与卫导干扰控制，主要包括：接近控制、干扰控制。

2.3.1 接近控制

2.3.1.1 接近路线控制

与物理撞击不同的是，干扰无人机由于干扰威力范围较大，具有不必精准到达某特定点位、而可以依靠干扰威力范围进行概略控制的优点，再加上干扰无人机的尺寸相对于干扰威力范围、敌我距离等均较小而可忽略不计，从而干扰无人机接近路线控制的对象，可以简化地看作就是干扰无人机的中心点。干扰无人机的接近路线如图所示：

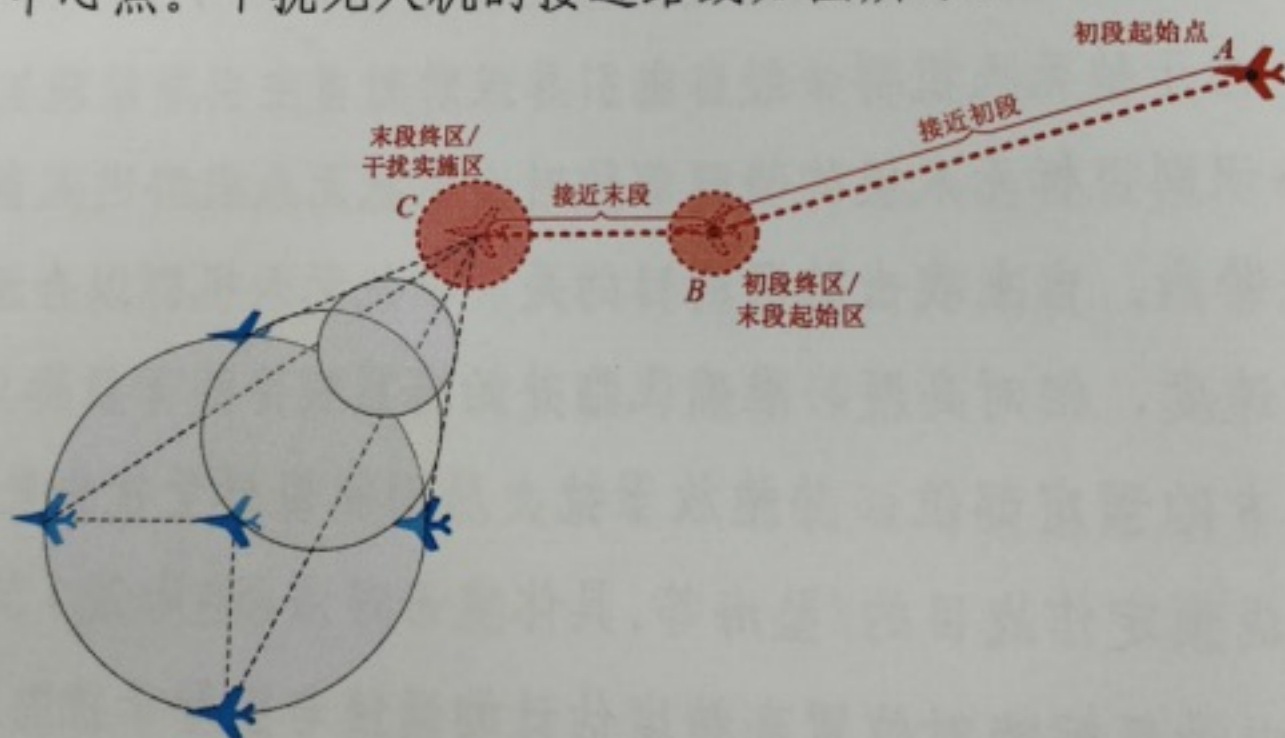


图 干扰无人机接近路线（红色虚线）示意

施放干扰区域 C：在假设目标匀速直线运动的条件下，施放干扰区域 C 的下边界，与敌群的高度差应为敌群内部间

距 d 的 $1/\sqrt{3}$ ，上边界则为伴随侦察无人机群所在高度，区域形状则与干扰威力圆锥体成镜像倒置。

干扰对准区域 B: 进入接近末端之前的对准区域 B (不必是一精确的点)，应当小于区域 C 的大小 (以便于接近末端路线控制)，假设由 B 区域开始，干扰无人机速度由 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 间距离大致为：

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

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

2.3.1.2 接近速度控制

接近路线末段终区 (施放干扰区域) C 的速度控制：通过控制干扰无人机的速度，使其与目标无人机之间的相对速度为 0。

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

干扰对准区域 (B 区域) 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，要求干扰无人机到达 B 区域时的相对速度不宜过大，否则很难在 t_{bc} (1s-2s 内) 调

整至 Δv ，具体在到达B区域时的相对速度，应根据干扰无人机的机动性能确定。

接近路线初段（AB段）速度控制：根据干扰无人机的机动性能、接近路线初段（AB段）的长度、到达B区域时的相对速度要求，控制干扰无人机的速度。

2.3.2 干扰控制

2.3.2.1 干扰前准备

除前述的路线控制、速度控制外，干扰前准备阶段还需要完成干扰相关设备系统的自检，以及完成干扰前的模式选择、参数配置等。

2.3.2.2 施放干扰

施放干扰时，干扰系统按额定功率，通过各天线组，持续向外辐射干扰波束。并在开始施放干扰时，向伴随侦察无人机通报“干扰中”（撞击拦截、空雷拦截则不需要，因为此二者均有明显可观测的拦截毁伤动作），以便伴随侦察无人机知道干扰开始时刻，并据此实施干扰拦截效果评估。

施放干扰过程中，还应按照优先“通信压制+卫导诱骗”，若诱骗失效再“通信压制+卫导压制”的策略进行干扰控制。

2.3.2.3 紧咬跟随控制

可能存在至少3种情况，需要干扰无人机群对敌群实施紧咬跟随的飞行控制：一是敌群因干扰受损伤而发生航迹变化、二是敌群因抗干扰策略中包含的特殊飞行控制而发生航迹变化、三是敌群受干扰后按既定任务飞行控制而发生航迹变化。此时，除干扰无人机群外，伴随侦察无人机也应保持

对敌群的跟随控制。

ZY/XTS-JKWTQ-FA08

2.4 干扰后控制策略

由于施放干扰时可以考虑不用考虑干扰无人机群、伴随无人机群自身发生受损的情况，故干扰后控制策略仅考虑对残余目标的继续干扰。

紧咬干扰拦截任务过程中，若经干扰无人机或伴随侦察无人机研判发现，有残余目标明显未受干扰影响，应组织所出动的空闲干扰无人机，对残余目标实施进一步的干扰拦截。必要时，可以采取多架干扰无人机协同干扰的方式（1架干扰无人机以全功率 3kw 施放 V/U 段通信干扰、1架干扰无人机以全功率 3kw 施放 L 段通信干扰、1架干扰无人机以全功率 3kw 施放卫导诱骗干扰、1架干扰无人机以全功率 3kw 施放卫导压制干扰）。

此外，应根据残余目标的阵位关系，重新进行目标分配、执行相应的干扰拦截策略，并按 2.2 节的实施方法组织干扰拦截任务。