

导航系统对战斗机截击效能的影响分析

吴德伟¹, 高晓光², 戚君宜¹

(1. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077; 2. 西北工业大学, 陕西 西安 710072)

摘要:对近程导航定位系统位置线和定位误差进行了分析;建立了导航系统定位精度与战斗机截击发现概率之间的关系;首次给出了发现概率与导航系统作用距离和机载雷达探测距离的关系曲线,指出了导航系统对战斗机截击效能的影响,对导航系统运用和战术问题研究有重要参考价值。

关键词:截击效能;发现概率;误差分析

中图分类号:V324 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-3516(2003)02-0016-04

以往对作战飞机截击发现概率的分析通常忽略导航系统的影响,仅限于由机载雷达诸因素所产生的作用^[1]。导航定位系统用于为运载体提供某一坐标系,并确定该运载体在坐标系中的位置,以便安全可靠地把运载体引导到目的地。当战斗机执行拦截任务时,其导航的目的地就是截击点。战斗机能否准确进入这个截击点,决定了机载火控雷达能否及时发现目标,先发制人。因此,机载雷达能否发现目标无疑要依赖导航定位系统能否将飞机引导到可观测到目标的位置。

1 截击线与导航系统精度

当机载雷达探测距离为 $D_{探}$, 横向探测范围 $\pm\theta$ 时,为了保证发现目标,飞机横向偏移最大距离为 l , 如图1所示, $l = \text{tg}\theta \times D_{探}$, 因此,由长为 $2l$ 的线段构成了截击线。在飞机采用导航定位方式进入截击线的情况下,导航定位系统的定位精度将决定战机能否位于截击线上。换句话说,导航系统以多高的概率引导战机到达截击线,机载雷达就将以多大的概率发现目标。

无线电导航系统的定位精度是衡量其性能的最主要的战术技术指标。无线电导航系统定位误差的产生首先是由于在导航信号电参量(振幅,频率,相位,传播时间等)的测量过程中,不可避免地存在着由导航设备和传播条件所引起的误差。由于导航信号电参量和导航参量(方位,距离等)之间存在一定的对应关系,因此电参量的测量误差势必引起导航参量误差,从而产生相应的位置线误差;此外,由于定位过程要求至少测量2条位置线,因此定位误差不仅与每条位置线本身的误差有关,而且还与各位置线间的相对位置(夹角)有关。

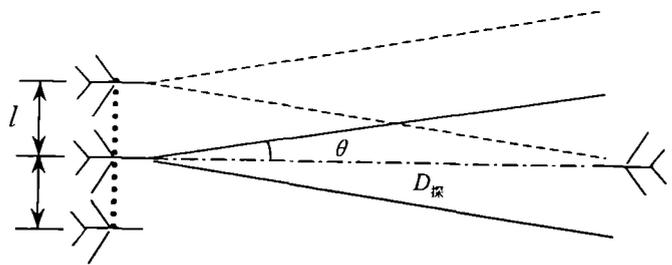


图1 截击线形成示意图

以某型飞机为例,该飞机执行任务时,利用惯性导航系统和近程导航系统实现导航。近程导航系统是一种测角-测距导航定位系统,建立的是极坐标系,它提供的位置数据对惯导提供的推算位置数据进行修正,因而其定位精度决定了整个导航系统的定位精度。

2 导航系统位置线误差分析

由于在无线电导航系统中存在各种噪声和干扰,以及在测量过程中许多难以预测和控制因素的影响,因而电参量测量误差是一个随机变量。这一随机变量的概率分布函数虽然很难通过理论分析精确地描述,但在方差不大的情况下可近似看成是一个正态分布的随机变量。根据这一假设推导得出的结论,在一般情况下能够与实际情况很好地符合。

既然误差可以看成是正态分布的随机变量,则这一随机变量的概率分布完全取决于它的前两阶统计矩—均值和方差。测量误差的均值称为系统误差,它是一个常量,在分析中我们通常把导航系统电参量测量误差看成是零均值、方差为 σ 的正态随机变量。

导航参量误差与位置线误差之间的对应关系可用标量场理论确定^[2]。对于测角导航系统,设导航参量误差为 $\Delta\theta$, 则其位置线误差将为 $\Delta u = R\Delta\theta$, R 为测定点到导航台的距离;对于测距导航系统,如其导航参量误差为 ΔR , 则位置线误差为 $\Delta u = \Delta R$ 。即测角导航系统的直线位置线误差和测距导航系统的圆位置线误差均与其导航参量误差成正比,且在导航参量测量误差一定的情况下,前者的位置线误差随测定点距离增大而增大,后者则不随距离变化。如果以 σ_θ 、 σ_R 分别表示测角误差和测距误差的方差,则 2 种导航系统的位置线方差分别为 $R\sigma_\theta$ 和 σ_R 。

3 导航系统定位误差分析

运载体在平面上的位置可以通过平面上 2 条位置线的交点加以确定。假设 u 、 v 是运载体所在位置的真正位置线,它们的交点就是运载体真实位置 M ,如图 2 所示。由于存在测量误差,实际测量得到的位置线分别为 $u + \Delta u$ 和 $v + \Delta v$, 这时根据测量结果确定的运载体位置将为 M_1 点。定义测量所得位置与真实位置之间的距离为定位误差,图中为 MM_1 。如前所述,位置线误差是正态分布的随机变量,因此定位误差也将是一个随机变量。

对于服从正态分布的随机位置线误差 Δu 、 Δv , 其概率密度函数分别为

$$W(\Delta u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_a} \exp\left[-\frac{\Delta u^2}{2\sigma_a^2}\right] \quad (1)$$

$$W(\Delta v) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_b} \exp\left[-\frac{\Delta v^2}{2\sigma_b^2}\right] \quad (2)$$

σ_a 、 σ_b 分别为位置线 u 、 v 的误差方差。显然测量所得位置 M_1 的概率分布应取决于 2 维概率密度函数:

$$W(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{2\pi\sigma_a\sigma_b\sqrt{1-\rho^2}} \exp\left[-\frac{1}{2(1-\rho^2)}\left(\frac{\Delta u^2}{\sigma_a^2} + \frac{\Delta v^2}{\sigma_b^2} - \frac{2\rho\Delta u\Delta v}{\sigma_a\sigma_b}\right)\right] \quad (3)$$

式中 ρ 是位置线误差 Δu 、 Δv 的相关系数,如果测量所得的位置线误差是相互独立的,则相关系数 $\rho = 0$, 此时定位概率密度函数为

$$W(\Delta u, \Delta v) = \frac{1}{2\pi\sigma_a\sigma_b} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\Delta u^2}{\sigma_a^2} + \frac{\Delta v^2}{\sigma_b^2}\right)\right] \quad (4)$$

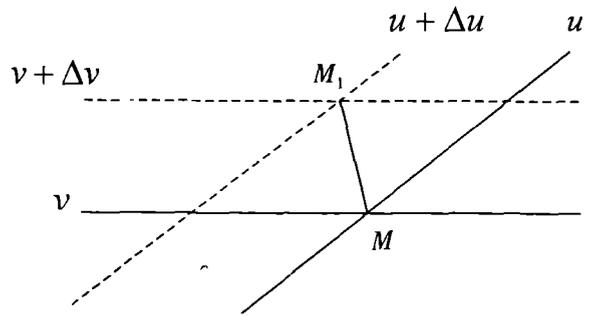


图 2 定位误差产生示意图

4 战斗机截击效能分析

如果我们用发现概率作为战斗机截击效能的指标,那么导航定位系统对发现概率的影响也就是对战斗机截击效能的影响。

如前所述,战斗机能否发现目标取决于飞机能否准确进入截击线,因而可以把导航系统引导飞机进入截击线的概率作为其机载雷达发现概率。

对于近程导航系统,其定位原理是直线—圆位置线相交定位,如图3所示。当作战飞机利用近程导航系统引导执行截击任务时,截击线应位于圆位置线的切线上。由于因圆位置线误差而导致的定位误差只是影响了飞机提前或滞后发现目标,而并不会影响机载雷达错过目标,因此我们在这里忽略圆位置线误差对截击的影响,只研究因测角误差带来的直线位置线误差的影响。

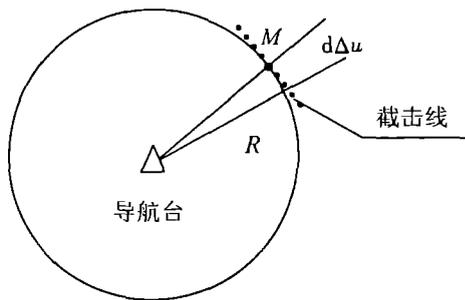


图3 位置线与截击线关系示意图

由式(1)或式(2),直线位置线误差的概率密度函数为

$$W(\Delta u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R\sigma_\theta} \exp\left[-\frac{\Delta u^2}{2R^2\sigma_\theta^2}\right] \quad (5)$$

设定位点落入微元线 $d\Delta u$ 的概率为 dp , 则有 $dp = W(\Delta u)d\Delta u$, 所以:

$$dp = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R\sigma_\theta} \exp\left[-\frac{\Delta u^2}{2R^2\sigma_\theta^2}\right] d\Delta u$$

定位点落入截击线的概率:

$$P = \frac{1}{\sqrt{2\pi}R\sigma_\theta} \int_{-l}^{+l} e^{-\frac{\Delta u^2}{2R^2\sigma_\theta^2}} d\Delta u = 2\Phi\left(\frac{l}{R\sigma_\theta}\right) - 1 = 2\Phi\left(\frac{D_{探} \operatorname{tg}\theta}{R\sigma_\theta}\right) - 1 \quad (6)$$

当已知机载雷达探测范围 $\theta = \pm 10^\circ$, 近程导航系统测角误差 $\sigma_\theta = 0.25^\circ$ 时, 依据式(6)可计算出不同飞行距离和探测距离情况下的概率 P 值, 并绘出曲线。如果我们把飞机进入截击线的概率就作为战斗机的发现概率, 则可以通过曲线反映发现概率与飞行距离及机载雷达探测距离之间的关系。图4绘出了不同探测距离情况下发现概率与飞行距离的关系。

由图4可以看出, 当机载雷达探测距离在 20 km 以上时, 发现概率在近程导航系统作用距离内 (< 500 km) 保持在较高水平 (> 0.9); 而当探测距离小于 20 km 时, 发现概率将随飞行距离增加而显著下降。当战斗机拦截低空目标时, 其机载雷达必须采用下视方式搜索目标, 这时因地物反射杂波影响, 探测距离将明显下降, 从而导致发现概率下降。

为了提高发现概率, 需要采用平视或上视方式搜索目标, 这样战斗机必须低飞。但近程导航系统工作区处于仰角 5° 以上, 如图5所示, 这种情况下的飞行距离将受到限制。如拦截处于 1 000 m 的低空目标, 战斗机采用平视方式搜索目标的最大飞行距离仅为 12 km。

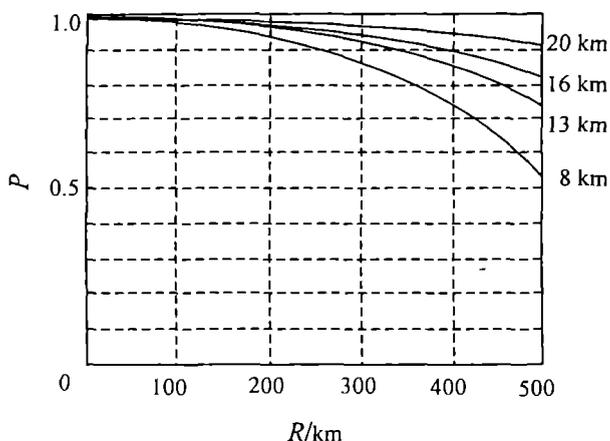


图4 发现概率与飞行距离关系图

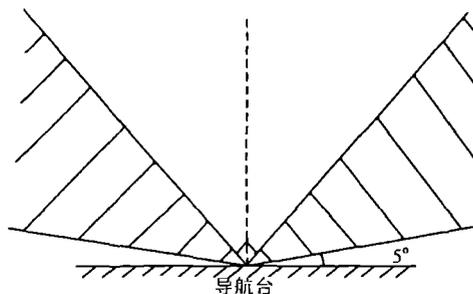


图5 近程导航系统工作区示意图

5 结束语

评估飞机作战能力可用完成任务的概率来衡量。通常为完成一项任务需要经历若干阶段或环节, 其中一个环节出问题, 作战效果就会降低甚至完全失败。所以评价作战飞机的能力要对各个环节都进行衡量并

定出标准,然后评价各环节的完成概率,最终确定飞机完成任务的概率。

作战飞机完成截击任务的效能也就是其完成截击这项任务能力的度量。整个截击任务应由发现目标、占位射击、武器毁伤几个部分构成。如上所述,导航系统对作战飞机截击效能的影响直接反映在对发现概率的影响。导航系统定位精度越高,越能准确地将战机引导到截击位置,及时发现目标予以拦截。分析表明,对具有较大探测距离机载雷达的战斗机,近程导航系统能够提供较高的定位精度保证满足高发现概率的要求。而对于机载雷达探测距离较小的战斗机,近程导航系统在近距工作区可以满足较高发现概率的要求,而当实施远距离拦截时会因导航定位精度的下降而使发现概率也明显下降。

总之,作战飞机运用近程导航系统导航执行拦截任务时,导航系统在其工作区内对截击效能的影响取决于机载雷达探测距离。对探测距离大于 20 km 的飞机,其影响很小;而对探测距离小于 20 km 的飞机,影响明显加剧,结果会使截击效能随飞行距离增加而降低。

参考文献:

- [1] 朱宝璠. 作战飞机效能评估[M]. 北京:航空工业出版社,1993.
- [2] 魏光顺. 无线电导航原理[M]. 南京:东南大学出版社,1989.
- [3] 盛 轴. 概率论与数理统计[M]. 北京:高等教育出版社,1989.
- [4] [俄] 格里申 A П. 飞行器在各个阶段的效能分析[M]. 段哲民. 西安:西北工业大学出版社,1992.
- [5] 高晓光. 作战效能的基本问题[J]. 指挥与火力控制, 1998, (1):23-26.
- [6] 刘小刚,宋 凯. 攻击机动目标的最优导引规律[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2002,3(1):18-21.

(编辑:门向生)

The Analysis of Influence on the Intercepting Effectiveness of Fighter by the Navigation System

WU De - wei¹, GAO Xiao - guang², QI Jun - yi¹

(1. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an 710077, China; 2. Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: The siting error and $L > O > P >$ of short distance navigation positioning system have been analyzed. The relationship between positioning precision of navigation system and detecting probability of fighter for intercepting is established. The curve of relationship on the detecting probability with the navigation system operating range and the explorative distance of airborne radar is set up for the first time. The influence on the intercepting effectiveness of fighter by the navigation system is presented. So it is of great value to tactic research and application of navigation system.

Key words: intercepting effectiveness; detecting probability; error analyzing