

# 机载无源侦察定位方法研究

王小宁, 贾建铭, 谢 鹏

(中航工业第一飞机设计研究院, 西安 710089)

[摘要] 无源侦察定位是电子对抗的重要组成部分, 在隐身与反隐身、电子侦察等方面的作用日益突出。介绍了飞机侦察定位所采用的测向方法, 并对两种常用的测向方法进行了精度分析, 给出了装备飞机的应用建议。

关键词: 无源侦察定位; 电子战; 探测; 单站

## Research on Passive Detection and Positioning Methods for Airborne

WANG Xiaoning, JIA Jianming, XIE Peng

(AVIC The First Aircraft Institute, Xi'an 710089, China)

[ABSTRACT] Passive detection and positioning is an important part of the electronic countermeasure system, becomes more prominent in stealth and anti-stealth, electronic warfare support measures, etc. This paper describes the methods of airborne passive detection and positioning, analysis the accuracy of two common direction finding methods, gives application suggestions for aircraft.

Keywords: Passive detection and positioning; Electronic countermeasure system; Probe; Single station

DOI: 10.16080/j.issn1671-833x.2016.18.081

无源侦察定位指的是侦察设备不发射无线电信号, 仅通过接收目标电磁辐射信号对目标进行定位, 它是电子对抗的一个重要组成部分。

由于没有向目标发射信号, 无源侦察定位不同于雷达, 不会首先暴露自己, 也不会招来诸如反辐射导弹这样的进攻性武器的攻击。因而, 无源侦察定位从一开始就成为一项受人关注的技术。

## 1 无源侦察定位的功能

现代军事设施中使用了大量的电子装备, 大部分都使用带辐射的无线电装备, 这就为无源定位系统确定其坐标打下了基础。无源侦察定位系统正是通过对辐射源的定位来确定该辐射源载体的位置。由于无源性, 最适合用于在对方不知道的情况下做定位, 包括静默情况下准备向对方发起攻击, 对进攻方攻击的秘密监视以及对边界地区对方电子活动的长期监视。由于无源性, 无源侦察定位原则上不受干扰, 也就适合用于在雷达等有源定位设备受干扰而无法正常工作时起补充作用<sup>[1]</sup>。

## 2 无源侦察定位采用的测向方法

### 2.1 比幅法

波束比幅法测向的原理是: 将多个独立的角度指向

不同的天线覆盖 360° 方位, 对同一辐射源信号, 总有一对相邻天线较其他天线接收到的信号强度大, 通过比较这对相邻天线接收信号包络幅度的相对大小, 就可以计算出辐射源信号的方位。很容易想象, 如果采用数量更多的天线, 可供计算的信息就更多, 测向的精度相对就更好。天线使用多少, 根据不同的需求而定, 可以有 4 个、6 个、8 个等<sup>[2]</sup>。

比幅法测向的优点在于它测量方位所需的信号存在的时间极短(有时又叫瞬时测向), 接收天线不必转动。比幅法测向达到的精度可以略优于天线波束宽度的 1/10。

### 2.2 干涉仪测向

干涉仪测向的实质是利用电磁波信号到达测向基线上不同天线的相位差来确定信号的方向, 图 1 是相位干涉仪的原理图。若对于天线的法线方向, 信号的进入角为  $\theta$ , 天线间距为  $L$ , 那么, 信号到达 2 个天线的距离差将与  $L$  和  $\theta$  有关, 不难推导出由此造成的频率为  $f$  的两个信号的相位差也与  $L$  和  $\theta$  有关。

图中相邻两天线的相位差:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} L \sin \theta, \quad (1)$$

式中,  $L$  为基线长度,  $\theta$  为入射角,  $\lambda$  为信号波长。

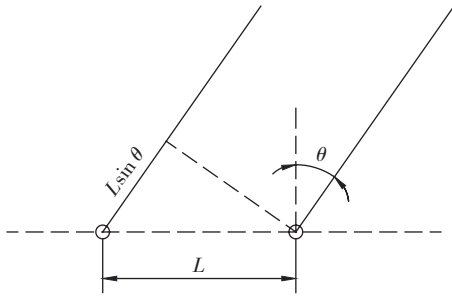


图1 干涉仪测向示意图

Fig.1 Sketch of direction finding by phase interferometer

所以,只要我们可以准确地求得两天线的相位差,就可以反推得到信号的入射角  $\theta$ 。

$$\theta = \arcsin(\lambda \phi / 2\pi L) \quad (2)$$

### 2.3 其他测向法

#### (1) 时差法。

随着测量技术的发展,对于图1由于信号到达2个天线的路程差所产生的时间差,也可以准确地进行测量。这时,不再通过相位差间接地测量这一路程差,而是可以直接测量时间差求出路程差。采用时差法测向的最大难度是如何将时差测准,因为当2个天线的间距为30m时,不同方向的信号到达这两个天线的最大差只有  $0.2\mu\text{s}$ 。要测准方向,对时间差的测量精度应在  $0.001\mu\text{s}$  以下。

#### (2) 最大(或最小)信号法。

对于任何一个有方向性的接收天线,在接收同一个辐射源目标时,天线指向不同,接收到的信号强度将会不同。如果用接收天线的增益最大点对准辐射源,接收到的信号就最强;用接收天线的增益最小点对准辐射源,接收到的信号就最弱。由于已知接收天线的方向图,所以就可以求出辐射源的方位,如图2所示。

用最大信号法测向,设备和处理过程都比较简单,但是它的精度一般很难超过接收波束宽度的  $1/5$ 。而且从原理上讲,它要求辐射信号是最稳定的,在整个测量过程中自始至终地存在。一旦信号强度本身在迅速变化,比如,辐射源的波束在空间扫描,它一会儿用主波束对准接收天线,一会儿用它增益很小的一个旁瓣对准接收天线,

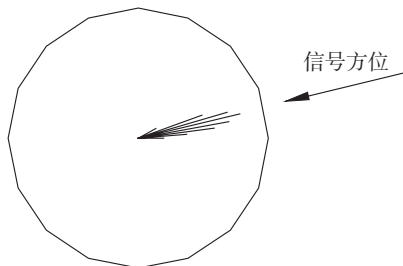


图2 最大信号法测向的直观显示

Fig.2 Visual display of direction finding by the maximum signal method

那么整个测向工作的机理就不复存在,导致无法测向或测向错误。

## 3 比幅测向与干涉仪测向的精度分析

### 3.1 比幅测向精度分析

图3所示为因此幅测向系统原理。设天线的波束形状为高斯型的,即有:

$$G(\beta) = \exp\left[-\frac{K\beta^2}{\left(\frac{1}{2}\theta_{0.5}\right)^2}\right] \quad (3)$$

式中,  $\beta$  表示辐射源信号入射方向与天线最大值方向的夹角,  $\theta_{0.5}$  为天线波束宽度,  $K$  为常数。

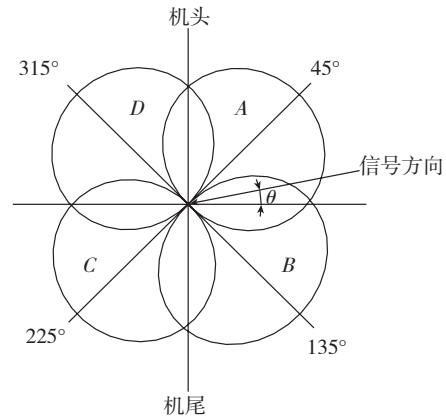


图3 四比幅测向系统原理图

Fig.3 Schematic diagram of direction finding by four specific amplitude

相邻天线轴线的夹角称为倾斜角,计为  $\theta_s$ 。当辐射源信号入射方向处于两天线之间且偏离两天线的等信号强度方向为  $\theta$  时,辐射源信号的入射方向与两个天线的最大值方向夹角分别为  $\left(\frac{\theta_s}{2} - \theta\right)$  和  $\left(\frac{\theta_s}{2} + \theta\right)$ , 则两个通道输出信号  $P_1$ 、 $P_2$  分别为:

$$\begin{cases} P_1 = 10 \log \left( G_1 \exp \left( -\frac{K(\theta_s/2 - \theta)^2}{(\theta_{0.5}/2)^2} \right) \right) \\ P_2 = 10 \log \left( G_2 \exp \left( -\frac{K(\theta_s/2 + \theta)^2}{(\theta_{0.5}/2)^2} \right) \right) \end{cases} \quad (4)$$

式中,  $G_1$  和  $G_2$  分别是2个通道的功率增益,通常它们都是相等的。

令  $R = P_1 - P_2$ , 则:

$$R = 10 \log \left( \frac{G_1 \exp \left( -\frac{K(\theta_s/2 - \theta)^2}{(\theta_{0.5}/2)^2} \right)}{G_2 \exp \left( -\frac{K(\theta_s/2 + \theta)^2}{(\theta_{0.5}/2)^2} \right)} \right) \approx 80K \lg e \left( \frac{\theta_s \theta}{\theta_{0.5}^2} \right) \quad (5)$$

当  $\beta = \theta_{0.5}/2$  时,接收功率下降一半,  $\exp(-K) = 0.5$ , 计算得  $K = 0.693$ 。

将  $k=0.693$  代入上式化简后可得:

$$\theta = \frac{\theta_{0.5}^2}{24\theta_s} R, \quad (6)$$

由上式可知,因波束宽度  $\theta_{0.5}$  和倾斜角  $\theta_s$  是已知的,只要得到对应通道输出信号功率比值  $R$ ,就可以计算出信号入射值  $\theta$ 。

对上式求全微分可得:

$$\Delta\theta = \frac{\theta_{0.5}R}{12\theta_s} \Delta\theta_{0.5} + \frac{\theta_{0.5}^2}{24\theta_s} \Delta R - \frac{\theta_{0.5}^2 R}{24\theta_s^2} \Delta\theta_s, \quad (7)$$

上式右侧每项造成的测角误差是正的或负的,但通常最大测角误差是将每项误差的绝对值相加。具体而言,信号频率若在宽频带范围内变化时,天线波束形状、宽度、增益都会变化,导致测向天线相关参数不一致,进而造成  $\Delta\theta_{0.5}$ 、 $\Delta\theta_s$ 、 $\Delta R$  不为 0。同时接收机增益会随入射信号功率大小、工作温度而改变,故功率比值不仅与信号入射角度有关,还与相邻支路接收机当时的增益有关,即  $\Delta R$  不为 0。

工程应用中比幅法测向能达到的精度可优于天线波束宽度的 1/10。

### 3.2 干涉仪测向精度分析

干涉仪体制的测向精度可按式(8)估算:

$$\Delta\theta = \frac{\Delta\phi \cdot \lambda}{2\pi l \cos\theta} + \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \tan\theta - \frac{\Delta l}{l} \tan\theta, \quad (8)$$

式中:  $\Delta\theta$  为测角误差,  $\theta$  为信号入射角,  $\lambda$  为入射信号的波长,  $\Delta\lambda$  为源自射频频率测量误差,  $\Delta\phi$  为相位误差,  $L$  为基线长度,  $\Delta L$  为基线长度误差。

可以看出,测量精度与入射角  $\theta$ 、基线长度与入射频率的比值  $L/\lambda$ 、相位误差  $\Delta\phi$ 、测频误差  $\Delta\lambda$  以及基线长度的误差  $\Delta L$  有关。

入射信号与基线垂直,即  $\theta=0^\circ$  时,测向误差最小;入射信号与基线方向平行或者接近平行,即  $\theta=90^\circ$  时,测向误差非常大且已无法正常测向。因此,通常将单基线干涉仪测向的范围限制在  $\pm 60^\circ$ ,甚至更窄。

误差大小与  $L/\lambda$  成反比,所以当基线长度相同时,频率越高测向精度越高。为了获得高的测量精度,必须采用长基线。工程应用中干涉仪测向的精度可以做到  $1^\circ$  左右。

### 3.3 两种方法的比较

通过上述计算分析可以得知,干涉仪测向的精度远远大于比幅法测向。干涉仪测向技术因其较高的测向精度更适用于在电子战环境中对敌目标精确定位并引导精确制导武器对高威胁目标实施打击;结合比幅法瞬时测向的优点,比幅法测向技术更适用于对战场实时侦察、分析和识别,为乙方部队提供电子告警,实施电子干扰和其他军事行动。

## 4 结束语

目前,我国对机载无源侦察定位装备的需求非常迫切,通过对干涉仪和比幅两种测向方法的精度分析比较,给出了运用相应方法的机载设备装备飞机的建议。对提高作战飞机在电子战环境下的生存能力和作战能力具有重要意义。

### 参考文献

- [1] 翟庆伟,王玉.波束比幅法测向技术研究[J].无线电通信技术,2007,33(6):55-56.
- ZHAI Qingwei, WANG Yu. Research on the technology of the beam amplitude comparison direction finding[J]. Radio Communications Technology, 2007, 33(6):55-56.
- [2] 熊群力.综合电子战-信息化战争的杀手锏[M].北京:国防工业出版社,2008.
- XIONG Qunli. Integrated electronic warfare, the weapon of information warfare[M]. Beijing: Beijing National Defence Industry Press, 2008.

(责编 大漠)

(上接第80页)

bending after low velocity impact and quasi-static transverse indentation of composite honeycomb core sandwich panels[J].Acta Materiae Compositae Sinica, 2000,17(2):114-118.

- [11] 彭建林,尹志宏,宋俊杰.基于ANSYS的蜂窝纸板静压特性研究[J].机械,2007,10:31-33.

PENG Jianlin, YIN Zhihong, SONG Junjie. Research on static compression performance of honeycomb paperboard based on ANSYS[J]. Machinery, 2007, 10: 31-33.

- [12] 郝好山. ANSYS12.0 LS-DYNA 非线性有限元分析从入门到精通[M].北京:机械工业出版社,2010.

HAO Haoshan. ANSYS12.0 LS-DYNA nonlinear finite element analysis from entry to the master[M]. Beijing: China Machine Press, 2010.

- [13] 全国焊接标准化技术委员会. GB/T2651-2008 焊接接头拉伸试验方法[S].北京:中国标准出版社,2008.

The national welding standardization technical committee. Weld tensile test method GB/T2651-2008[S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

- [14] 李萌.基于前纵梁压溃仿真的焊点失效模拟及布置研究[D].上海:上海大学,2014.

LI Meng. The Research of spot weld failure simulation and layout based on front rail crushing simulation[D]. Shanghai: Shanghai University, 2014.

- [15] 王青春,范子杰.利用LS-DYNA计算结构准静态压溃的改进方法[J].力学与实践,2003,25(2):20-22.

WANG Qingchun, FAN Zijie. Improvement in analysis of quasi-static collapse with LS-DYNA[J]. Mechanics in Engineering, 2003, 25(2): 20-22.

- [16] 中国国家标准化管理委员会. GB/T1453-2005 夹层结构或芯子平压性能试验方法[S].北京:中国标准出版社,2005.

Standardization Administration of the People's Republic of China. GB/T1453-2005 Test method for flatwise compression properties of sandwich constructions or cores[S]. Beijing: Standards Press of China, 2005.

(责编 大漠)