

文章编号: 0258-7025(2004)Supplement-0252-02

# 基于多普勒效应的激光危险源定位方法

王莲芬, 张清华, 赵选科

(西安第二炮兵工程学院物理教研室, 陕西 西安 710025)

**摘要** 从狭义相对论原理和多普勒效应出发, 导出了双天线测向定位系统接收频率变化量的理论公式, 在忽略高阶无穷小量的条件下, 多普勒频移为激光信号发射方向与接收机的参考方向之间夹角之差的正弦函数, 在某些特殊位置, 多普勒频移为零, 根据零点的位置, 理论上便可测得激光危险信号的来向。

**关键词** 激光技术; 激光告警; 激光探测; 定向

## Locating Method for Laser Danger Source Based on Doppler Effect

WANG Lian-fen, ZHANG Qing-hua, ZHAO Xuan-ke

(The Second Artillery Engineering Institute, Xi'an, Shaanxi 710025, China)

**Abstract** From the point of view of relativity principle and Doppler effect, the formula of changing value in receiver frequency for double antenna directional locating device is derived. Under the circumstance of ignoring high order -small, it shows that Doppler frequency deviation is the sine function of angle between laser emitting direction and reference direction of receiver. At some special location, frequency deviation is zero. According to this location of "zero point", the danger signal direction of laser can be determined.

**Key words** laser technique; laser warning; laser detection; directional device

### 1 引言

激光告警技术, 在现代作战平台光电对抗系统中已逐渐普及应用, 电子战(EW)与信号情报系统(SIGINT)必须具备对敌方激光危险源进行定位的能力, 往往称之为测向(DF)能力, 测向是一个重要概念, 因为其指标是由定位精度要求与截获几何学决定的。对危险源的定位, 就必须同时确定危险源的距离和方位角。目前国外常用的定位方法非常多, 有基于幅度的定位(如单定向天线技术、沃森-瓦特技术多定向天线毕副技术等)、基于辐射源定位几何学的三角定位、相干定位等<sup>[1]</sup>。一些为危险源经纬定位系统常通过测量接收信号的频率变化来确定其到达的方向, 其中就利用了多普勒效应。

### 2 多普勒效应测向原理

多普勒效应是波动的基本特性, 声波和电磁波都具有多普勒效应, 多普勒效应使接收信号的频率发生变化, 其变化量与接收机和发射机的运动速度有关, 如图1所示, 当激光信号源(即发射机)C静止,

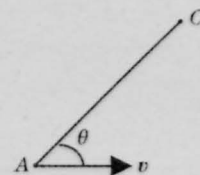


图1 接收机相对于信号源运动方向

Fig.1 Receiver relative to signals movement direction

接收机A以速度v相对于信号源运动时(速度方向沿两者连线)如果不考虑相对论效应, 其观测频率为

$$f = \frac{u \pm v}{u} f_0 \quad (1)$$

其中 $f_0, u$ 分别为信号源的发射频率和在媒质中传播的速度。

如果接收机运动方向与两者连线成 $\theta$ 角, 公式中以接收机的速度在两者连线方向的分速度代替, 此时观测频率为:

$$f = \frac{u \pm v \cos \theta}{u} f_0 \quad (2)$$

公式中的正负号由运动方向决定, 当两者靠近时取正。但对于电磁波或可见光波, 他们的传播速度是

作者简介: 王莲芬(1961-), 女, 西安二炮工程学院物理教研室副教授, 主要从事应用光学方面的研究。

E-mail: wanglianfen888@sohu.com

光速,因此,在讨论电磁波的多普勒效应时,必须应用狭义相对论原理,当接收机和发射机相向运动时,若仍然假设发射源静止,观测频率为<sup>[2]</sup>

$$f = \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} f_0 \quad (3)$$

其中  $c$  为电磁波在空中传播的速度。接收频率的变化量,即多普勒频移为

$$\Delta f = f - f_0 = \left( \sqrt{\frac{c+v}{c-v}} - 1 \right) f_0 \quad (4)$$

若接收机以速度  $v$  相对于波源运动,运动方向与两者连线成  $\theta$  角,观测频率为

$$f = \sqrt{\frac{c+v\cos\theta}{c-v\cos\theta}} f_0 \quad (5)$$

多普勒频移为

$$\Delta f = f - f_0 = \left( \sqrt{\frac{c+v\cos\theta}{c-v\cos\theta}} - 1 \right) f_0 \quad (6)$$

### 3 双天线多普勒效应测向仪

设多普勒测向定位系统由两部天线构成,天线 A 固定,天线 B 绕天线 A 以角速度  $\omega$  作半径为  $R$  的匀速圆周运动如图 2 所示。两部天线都馈接一部接收机,分别接受危险源发射的频率,将两频率进

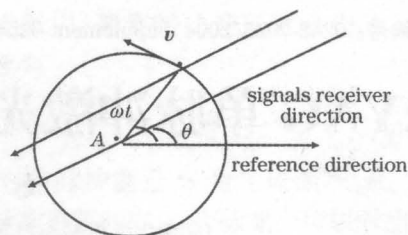


图 2 固定天线与移动天线测向原理示意图

Fig.2 Schematic of fixed and mobile antenna direction

行比较。对于固定发射机,不妨假设信号发射方向沿水平方向,与接收机的参考方向成  $\theta$  角,此时天线 B 相对与天线 A 的夹角为  $\omega t$ , B 绕 A 的运动的速度大小为  $v = \omega R$ , 由于天线 A 相对于发射机静止,故所检测频率为发射频率,天线 B 相对于发射机速度随时间周期性变化,所检测频率也将周期性变化。在上述位置时,天线 B 在信号方向的速度分量为  $v\sin(\omega t - \theta)$ , 所检测频率为

$$f = \sqrt{\frac{c+v\sin(\omega t - \theta)}{c-v\sin(\omega t - \theta)}} f_0 = \left[ 1 + \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^{1/2} \left[ 1 - \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^{-1/2} f_0 \quad (7)$$

由于  $v \ll c$ , 因此可将上式按级数展开

$$f_B = \left\{ 1 + \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{2c} - \frac{1}{2 \times 4} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^2 + \frac{1 \times 3}{2 \times 4 \times 6} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^3 + \Lambda \right\} \times \left\{ 1 - \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{2c} + \frac{1 \cdot 3}{2 \times 4} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^2 - \frac{1 \times 3 \times 5}{2 \times 4 \times 6} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^3 + \Lambda \right\} f_0 \quad (8)$$

忽略  $\frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c}$  的高阶无穷小量

$$f_B \approx \left\{ 1 - \frac{3}{48} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^3 \right\} f_0 \quad (9)$$

多普勒频移为

$$\Delta f = f_B - f_A = -\frac{3}{48} \left[ \frac{v\sin(\omega t - \theta)}{c} \right]^3 f_0 \quad (10)$$

由此可以看出,从任何方向所接收到的信号,其频率差都随时间作周期性变化,并且当

$$\sin(\omega t - \theta) = 0 \text{ 时, } \Delta f = 0 \quad (11)$$

可以根据这一零频移的位置,容易求得信号发射方向相对于参考方向方位角  $\theta$  所满足的关系

$$\omega t - \theta = k\pi$$

当天线 B 从发射机和天线 A 之间穿过,或穿过发射机和天线 A 的延长连线时,频移为零。

### 4 结论

利用发射机和接收机之间有相对移动时,所接

收频率发生变化的多普勒效应原理,可以精确测量危险信号的方位,对处于同一平面的静止发射机,可以使用双天线测量。实际的多普勒测向系统极少采用一部天线绕另一部固定天线旋转的方法,多采用多部天线绕中心的传感天线布阵的方法来实现。外围的天线依次接入接收机能够产生天线旋转的效果,在某些系统中,甚至取消了传感天线,而代之以所有外围天线的输出总和作为参考输入。

### 参 考 文 献

- 1 Yang J. Locating for radiation source [J]. *Electronic Reconnaissance and Jamming*, 2002, (4):37-41  
杨翼. 辐射源定位[J]. 电子侦察干扰, 2002, (4):37-41
- 2 Ma WenWei. Applications of Physics Principles in Engineering & Technology [M]. Beijing Higher Education Press, 2001. 212-216  
马文蔚. 物理学原理在工程技术中的应用[M]. 北京: 高等教育出版社, 2001. 212-216