

文章编号: 1672-8785(2016)03-0016-04

红外侦察预警系统站点布设对被动测距精度的影响分析

谈 蕊

(河南省洛阳市电光设备研究所, 河南洛阳 471003)

摘 要: 介绍了红外侦察预警系统被动测距的原理, 探讨了双站布设距离及三站布阵方式对测距精度的影响, 提出了三站联合测距的最优布设方式—等边三角形布阵, 分析了该种布阵对目标的测距精度。仿真结果表明, 该布阵方式可最大限度地降低目标距离的误报率, 且能兼顾 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围测距的精度和一致性; 1 km 的站点间距可保证 14.2 km 距离内目标的测距精度优于 10%, 大大提高了三站联合测距的效果。

关键词: 红外侦察预警系统; 被动测距; 布阵方式; 精度; 仿真

中图分类号: TN216 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2016.03.004

Analysis of Influence of Infrared Reconnaissance Warning System Layout on Passive Ranging Accuracy

TAN Lei

(Luoyang Institute of Electro-optical Equipment, Luoyang 471003, China)

Abstract: The passive ranging principle of an infrared reconnaissance warning system is presented. The influence of bi-station distance and tri-station mode on ranging accuracy is discussed. An equilateral triangle disposal-optimal layout method for three joint station ranging is proposed. Its ranging accuracy for the target to be measured is analyzed. The simulation results show that the method can minimize the false alarm rate of target distance with the balance of the ranging accuracy in the range from 0 degree to 360 degree and the consistency. The site spacing of 1 km can ensure the location accuracy of the target to be better than 10% in the distance of 14.2 km. Thus, the three joint station ranging effectiveness can be improved greatly.

Key words: infrared reconnaissance warning system; passive ranging measurement; manner of distribution; precision; simulation

0 引言

红外侦察预警系统以被动方式工作, 可完成对低空、超低空或者近距离范围内各种来袭飞机、精确制导导弹的侦察告警, 具有探测范围广、定位精度高、隐蔽性好、抗干扰能力强及作

用距离远等特点, 目前已成为主要的侦察告警手段, 并得到了广泛应用^[1-4]。由于单套红外侦察预警系统不具备测距功能, 无法直接对目标定位, 其作战效能受到一定限制。因此, 基于红外侦察预警系统的被动测距技术成为关键技术之一。

收稿日期: 2016-01-19

作者简介: 谈蕊(1983-), 女, 吉林公主岭人, 硕士研究生, 工程师。主要从事光机装调研究。

E-mail: trvzxm1213@163.com

文献 [5]、[6] 分别研究了双站被动测距技术, 并对该算法进行了定位精度分析, 给出了该算法的适用范围。文献 [7] 基于实际使用提出了一种新的双站被动测距算法, 并进行了测距精度误差分析及计算机仿真。文献 [8] 研究了三站红外侦察预警系统被动测距方法。三站被动测距精度与测距站点布阵方式有很大关系, 所以有必要对站点布阵方式进行研究。本文基于实际作战使用需求, 在文献 [7] 的基础上, 通过仿真分析了站点布设对测距精度的影响, 并给出了给定误差条件下的有效测距范围。

1 被动测距原理

如图 1 所示, $O(X,Y,Z)$ 为右手坐标系, Y 轴方向指北。A、B、C 分别为红外侦察预警系统的三个侦察站, A、B、C 均位于 XOY 平面内, A 站点为主站。为了计算简单, 令 A 站点与坐标原点 O 重合, B 站点在 OX 轴上。假定 A、B 两站的距离为 d , C 站点为 XOY 平面上的任意一点, 坐标为 $C(x_c, y_c, 0)$ 。D 为被侦察

目标, 坐标为 $D(x, y, z)$, 在 XOY 平面的投影为 D' 。D 相对 A 站点的方位俯仰为 (α_1, β_1) , 相对 B 站点的方位俯仰为 (α_2, β_2) ; 相对 C 站点的方位俯仰为 (α_3, β_3) [7]。

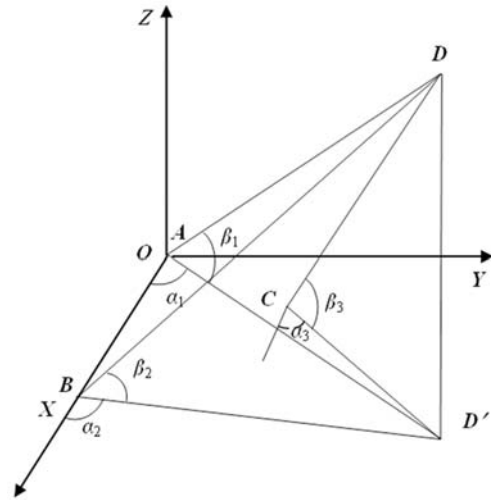


图 1 被动测距示意图

通过图 1, 从双站测距原理中可以推导得到, 由 AB、AC 和 BC 两两组合分别对目标 D 进行测距时的距离相对误差分别为 [7]

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = \frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_1 + \delta\eta_1) - \frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2 \sin(\alpha_2 - \alpha_1)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) + \frac{\sin\beta_1}{\cos\beta_1}(\delta\beta_1 + \delta\gamma_1) \quad (1)$$

$$\frac{\Delta R'_1}{R'_1} = \frac{\cos(\alpha_3 - \alpha_1)}{\sin(\alpha_3 - \alpha_1)}(\delta\alpha_1 + \delta\eta_1) - \frac{\sin(\alpha_1 - \arctan \frac{y_c}{x_c})}{\sin(\alpha_3 - \arctan \frac{y_c}{x_c}) \alpha_3 \sin(\alpha_3 - \alpha_1)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) + \frac{\sin\beta_1}{\cos\beta_1}(\delta\beta_1 + \delta\gamma_1) \quad (2)$$

$$\frac{\Delta R'_2}{R'_2} = -\frac{\cos(\alpha_2 - \alpha_3)}{\sin(\alpha_2 - \alpha_3)}(\delta\alpha_2 + \delta\eta_2) - \frac{\sin[\alpha_2 + \arctan \frac{y_c}{(d-x_c)}]}{\sin[\alpha_3 + \arctan \frac{y_c}{(d-x_c)}] \sin(\alpha_2 - \alpha_3)}(\delta\alpha_3 + \delta\eta_3) + \frac{\sin\beta_2}{\cos\beta_2}(\delta\beta_2 + \delta\gamma_2) \quad (3)$$

式中, R_1 、 R'_1 、 R'_2 分别为由 AB、AC 和 BC 测量得到的 D 与 A、B、C 站点的斜距, $\delta(\alpha)$ 、 $\delta(\beta)$ 、 $\delta(\eta)$ 和 $\delta(\gamma)$ 分别为红外侦察预警系统的方位误差、俯仰误差、指北误差和调平误差 [7]。

2 站点距离对测距精度的影响

首先分析站点距离对测距精度的影响。上述误差计算式中, 对于式 (1), 令 A 站点与 D'

点的距离为 l , 从图 1 可以看出, $\sin\beta_1 = y/l$, $\cos\alpha_1 = x/l$, $\sin\beta_1 = z/R_1$, $\cos\beta_1 = l/R_1$, $\tan\alpha_2 = y/(x-d)$ 。为了方便仿真计算, 假定目标 D 为一匀速飞行的飞机, 飞行高度为 5 km; 红外侦察预警系统测量的不确定度按表 1 结果给出。对于式 (1), 固定相对误差 $\Delta R_1/R_1$ 为 10%, 由 AB 站点进行双站测距, 仿真得到不同方位角, 其对应的有效测距范围如图 2 所示。由于空间对

称性,这里只给出方位角在 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围的仿真结果。

从图 2 中可以看出,在方位角 $0^\circ \sim 180^\circ$ 范围内,有效测距距离先增大后减小,在 90° 附近取最大值,这表明双站被动测距在两站连线垂直方向的测距效果最好。在方位角固定的情况下,随着红外侦察预警系统站点间距的增大,有效测距的距离随之增大。

表 1 红外侦察预警系统测量的不确定度

序号	项目	不确定度
1	方位	± 1.0 mrad
2	俯仰	± 1.0 mrad
3	指北	0.05°
4	调平	0.02°

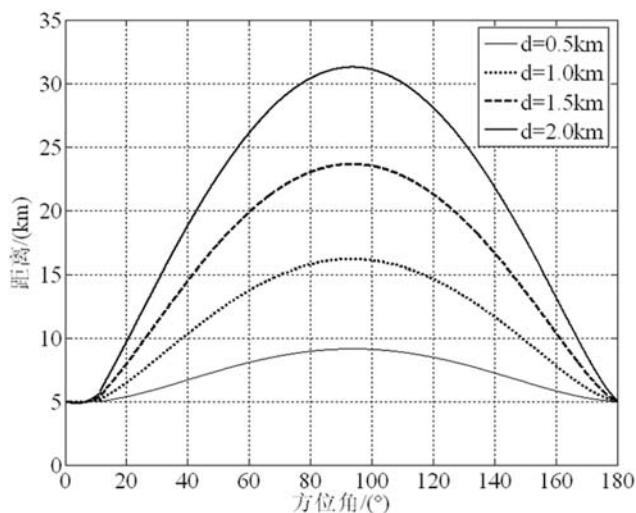


图 2 双站测距的有效测距范围与方位角关系

3 站点布设对测距精度的影响

分析图 2 可知,由 A、C 站点测得的目标有效测距的距离在方位角 α 为 $\arctan(y_c/x_c) + \pi/2$ 附近取最大值,且 A、C 站点的间距 $d_2 = \sqrt{x_c^2 + y_c^2}$ 越大,有效测距的距离就越远。由 B、C 站点测得的目标的有效测距距离在方位角 α 为 $\arctan[y_c/(d - x_c)] + \pi/2$ 附近取最大值,且 B、C 站点的间距 $d_3 = \sqrt{(d - x_c)^2 + y_c^2}$ 越大,有效测距距离就越远。图 3 给出了三个站点以任意三角

形方式布阵, d_1 、 d_2 、 d_3 分别取 0.78 km、1 km、1.46 km 时,有效测距的距离随方位角的变化情况。

从图 3 可以看出,由于 d_1 、 d_2 、 d_3 具有关联性,虽然大间距的 d_3 使 $120^\circ \sim 220^\circ$ 范围的测距精度明显优于其它方向,但相对于 d_3 ,由于 A、B 站点的间距 d_1 短,不仅对三站测距几乎起不到提高测距精度的作用,而且还导致了 $0^\circ \sim 360^\circ$ 范围全方位测距的瓶颈效应,影响了系统整体性能的发挥。在实际使用过程中,目标出现方位具有不确定性,三个站点距离的差距越大,站点距离短的两站对目标距离误报的可能性越大。虽然通过增大所有站点间距可提高有效测距的距离及测距精度,但受地形条件和红外侦察预警系统自身条件的限制,站点布设距离不可能太远。

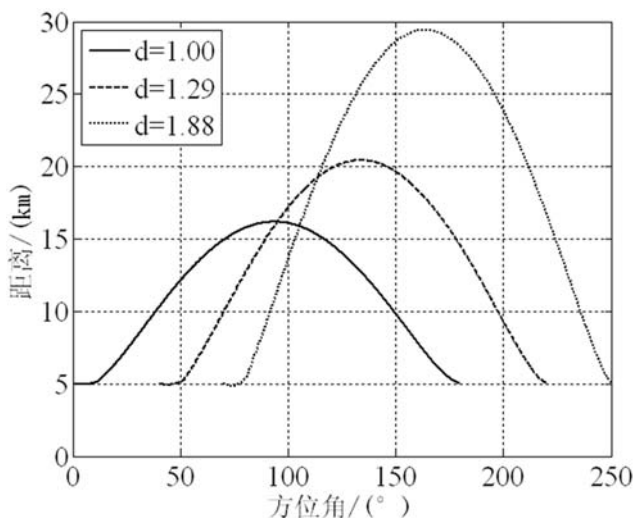


图 3 三站测距效果不一致

由上述分析可以得出,对于一个出现方向未知的非合作目标,为保证 $0^\circ \sim 360^\circ$ 的全方位测距精度及一致性,当三个站点布设为等边三角形时,可最大限度地降低对目标距离的误报。这样,当红外侦察预警系统对目标进行三站协同测距时,可依据来袭目标的方位,实时选择测距精度最高的两个站点进行测距,站点选取的原则是使目标方位与两站连线垂线方向的夹角最小。这样无论目标在哪个方向出现,或者以何种

方式运动, 系统均能实时选定最优站点配置, 保证对目标的测距最准确。

在此基础上, 综合实际使用的地形条件和红外侦察预警系统自身能力等条件, 通过最大限度地增大站点的距离, 可实现 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 的全方位高精度测距, 发挥三站协同测距的最大优势。

图 4 为站点布设为等边三角形时, 站点间距为 1 km、相对误差取 10% 时, 三站测距有效测距范围随方位角的变化情况 (由于空间对称性, 这里只给出 $0^{\circ} \sim 180^{\circ}$ 范围的测距效果)。

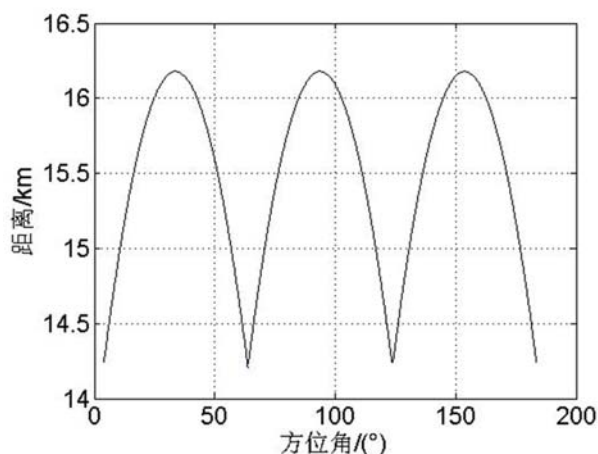


图 4 三站测距的仿真结果图

由图 4 可以得出如下结论:

(1) 红外侦察预警系统以等边三角形方式布阵对目标测距时, 可实现 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围全方位、高精度测距。有效测距范围随方位角呈现周期性变化, 变化周期为 60° , 测距效果最好的方向为任意两站连线的垂线方向, 测距效果最差的方向为与任意两站连线的垂线夹 30° 角方向。

(2) 方位角在 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围内, 相对误差为 10%、站点间距 d 为 1.0 km 时, 有效测距距离不小于 14.2 km, 最远可达 16.2 km。

4 结束语

结合实际使用需求分析了红外侦察预警系统双站站点布设距离对测距精度的影响, 三站站点布设方式对测距效果的影响, 通过仿真给出了不同条件下的测距精度。结果表明, 随着站点距离的增大, 双站有效测距的距离随之增大; 等边三角形方式布阵为三站联合测距的最优布设方式, 该布设方式可实现 $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 范围对目标高精度、远距离、全方位测距, 1.0 km 站点间距可保证在 14.2 km 距离范围内对目标测距的精度优于 10%, 提出的布阵方式可最大限度地降低对目标距离的误报率, 提高三站协同测距的能力, 具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] 刘海波. 光电预警探测技术研究 [J]. 应用光学, 2011, 32(1): 45-48.
- [2] 张合, 江小华. 目标探测与识别技术[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2015.
- [3] 王力民, 张蕊, 林一楠, 等. 红外侦察探测在军事上的应用 [J]. 红外与激光工程, 2008, 37: 570-574.
- [4] 陈兆兵, 郭劲, 姜伟伟. 红外告警设备的应用现状与发展趋势 [J]. 光机电研究论坛, 2008: 37-41.
- [5] 李程华, 宋刘非. 机动平台双站红外测距方法研究 [J]. 光电技术应用, 2013(5): 73-77.
- [6] 孙少杰, 杨晓东, 雷铭哲, 等. 基于双相机的目标距离测量技术 [J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(6): 155-159.
- [7] 王东, 成斌, 梁冬明, 等. 基于红外侦察告警系统的三站被动测距方法分析 [J]. 激光与红外, 2013, 43(6): 645-648.
- [8] WU Jian-fei, LI Fan-ming. Passive Ranging through Triple-station IRST System [J]. 红外与激光工程, 2007, 36(4): 560-564.