

文章编号: 1001 - 893X(2012)06 - 0869 - 04

# 反装甲导弹雷达导引头制导性能分析\*

何 均

(中国西南电子技术研究所, 成都 610036)

**摘要:**分析了雷达导引头用于反装甲导弹的技术方案。在目标的特性分析基础上,论证了导引头适宜采用的信号类型及具体的高分辨信号形式,设计了导引头在地面段和空中段的工作模式及工作过程。采用一组工作参数仿真分析了导引头达到的测量精度,结果表明,雷达导引头的测距精度小于 1 m,角速率误差小于 0.2°/s,随弹目距离的减小,精度进一步提高。导引头具备较高的制导性能和技术可实现性,对反装甲导弹雷达导引头的工程应用具有一定参考价值。

**关键词:**反装甲导弹;雷达导引头;毫米波;制导性能

**中图分类号:** TN959.2    **文献标志码:** A    **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2012.06.007

## Guidance Performance Analysis of Anti - armor Missile Radar Seeker

HE Jun

(Southwest China Institute of Electronic Technology, Chengdu 610036, China)

**Abstract:** The technical scheme for anti - armor missile radar seeker is analysed. Based on the analysis of the target characteristics, the signal type and the specific form of high - resolution signal for seeker are expounded. The work mode and work process are designed when seeker is in the ground segment and air segment. The measurement accuracy of the seeker is simulated. The result shows that the ranging accuracy of radar seeker is less than 1 meter and the angular rate error is less than 0.2°/s. With the distance decreasing, the precision is improved progressively. The seeker has high guidance performance and can be realized by present technology. The work in this paper has a certain reference value for the engineering application of anti - armor missile radar seekers.

**Key words:** anti - armor missile; radar seeker; millimeter wave; guidance performance

## 1 引言

地面坦克、装甲车、重型火炮一直以来都是现代战争重点打击的目标类型<sup>[2]</sup>。从效费比的角度考虑,攻击此类目标时多采用成本较低、精度较高、作用距离较近的导弹。SAR 成像末制导体制成本较高、数据处理量较大、对弹道要求严格,难以适用。除光电、红外、激光末制导导弹外,雷达末制导导弹以其全天时、全天候工作的特点受到广泛的关注和研究。由于此类目标通常处于复杂的地理环境中,地杂波影响严重,而目标的雷达散射截面较小,处于静止或运动状态,受地物环境影响较大,难以进行有

效的检测和判别。如何从复杂多变的地面环境准确检测目标成为雷达导引头研究的关键因素。南京理工大学的胡体玲<sup>[1]</sup>、陈金<sup>[2]</sup>等对高分辨雷达信号进行了分析。本文以常规低成本的研究角度,首先通过对高距离分辨信号的分析提出反装甲导弹雷达导引头应采用的信号形式,进而设计了导引头的工作流程、目标检测算法等,通过仿真分析论证导引头达到的性能指标。

## 2 导引头的信号分析

### 2.1 目标特性分析

雷达末制导导引头通常工作于毫米波频段,波

\* 收稿日期: 2012 - 02 - 28; 修回日期: 2012 - 06 - 07

长远小于目标尺寸,工作于光学区,雷达信号照射到目标后将形成多个散射中心,若采用宽带发射信号,目标回波的距离像包含多个反映目标特性的峰值,有利于对目标进行识别。地面目标体积较小、雷达发射截面积不大,其毫米波段的 RCS 约为 10 ~ 100 m<sup>2</sup>,受地面其他目标如地形起伏、树林、建筑物等影响严重。对低分辨雷达而言,目标的回波将淹没于噪声和杂波之中,这时的目标检测较难,达不到进行可靠检测所需的信噪比要求。此外,目标可能处于静止或慢速运动状态,也不能采用常规 MTI 雷达采用的动目标检测手段。因此,需要利用目标特征信息,采用距离高分辨信号对目标进行检测,在此基础上进一步识别目标<sup>[3]</sup>。

反装甲雷达导引头采用高分辨发射信号,从而可以实现:

(1)高分辨回波信号形成具有多个峰值的目标一维距离像,利用距离像信息对目标进行识别,提高目标识别能力;

(2)利用距离高分辨减小单个距离单元内杂波的回波能量,而目标回波能量主要由散射中心决定,受距离单元大小影响不大,从而提高信杂比;

(3)高分辨回波在距离像形成多个峰值,峰值的个数在一定范围内相对固定,从而抑制突然出现的单个峰值或大片峰值的干扰信号,提高抗干扰能力。

### 2.2 高分辨雷达信号分析

为获得高分辨距离信息,导引头需采用宽带发射信号,主要的宽带信号包括线性调频信号、调频步进频信号、相位编码信号等<sup>[4]</sup>,在高分辨率雷达系统中,线性调频脉冲压缩信号和调频步进频信号是用得最多的两种,下面针对这两种信号进行分析。

#### (1)线性调频脉冲压缩信号

$$S_T(t) = A \cos[2\pi(f_0 t + kt^2/2) + \phi_0] \quad (1)$$

式中,  $k$  为调频斜率,  $A$  为发射信号幅度,  $\phi_0$  为发射信号初相,  $f_0$  为发射信号的载频。

该信号的模糊函数为

$$|x(T_d, F_d)|^2 = \begin{cases} \left| \frac{\sin[\pi(F_d - KT_d)(T - |T_d|)]}{\pi(F_d - KT_d)(T - |T_d|)} \times \frac{T - |T_d|}{T} \right|^2, & |T_d| < T \\ 0, & |T_d| > T \end{cases} \quad (2)$$

#### (2)调频步进频信号

$$S_T(t) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{n=0}^{N-1} u_1(t - nT_r) e^{j2\pi(f_0 + n\Delta f)t} \quad (3)$$

式中,  $T_r$  为脉冲重复周期,  $T$  为子脉冲宽度,  $f_0$  为载频起始频率,  $\Delta f$  为频率步进量,  $N$  为频率步进数量。

信号的模糊函数为

$$|x(T_d, F_d)| = \begin{cases} \left| \frac{\sin\pi F_d(T - |T_d|)}{\pi F_d(T - |T_d|)} \right| \cdot \left| \frac{T - |T_d|}{T} \right|, & |T_d| \leq T \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

分析两种信号的模糊图可以看出:线性调频信号具有良好的距离(时间)和速度(频率)分辨力,信号主要能量及峰值位于  $T_d = F_d$  的直线上,具有较好的抗杂波干扰能力;调频步进信号的模糊图存在多个相互独立的模糊带,在频率维存在多值性,而在时间维具有较高的分辨力,由于信号能量主要集中于各模糊带上,因此具有较好的杂波抑制能力。

## 3 导引头工作模式设计

系统工作过程主要分地面段和空中段两个阶段。

### 3.1 地面段

#### (1)任务加载

由于不同目标具有不同的一维距离像特征,因此在导弹发射之前,需要对导引头进行任务加载,主要包括待打击的目标类型及目标的特征数据库等信息。

#### (2)系统自检

通过查看导引头的 BIT 信号判断各模块是否工作正常。同时,利用测试接口输入相应的测试信号,检验导引头主要指标是否满足导弹系统的要求。

### 3.2 空中段

导引头在飞行过程中的工作过程如图 1 所示。

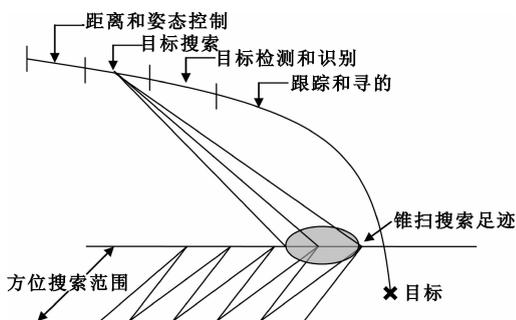


图 1 导引头的工作过程

Fig. 1 The working process of radar seeker

#### (1)导引头开发射前

此阶段导引头通电,但由于弹目距离较远,在导引头的威力范围外,为了避免导引头发射信号被对

方探测并被干扰,同时降低系统电源消耗,功放处于不发射状态。导引头将天线指向起始扫描位置,并由伺服系统实现天线的电锁定,导引头处于扫描准备状态。

### (2) 目标区搜索

当导弹进入导引头威力范围后,导引头打开发射机,按照预先设定或解算得到的搜索范围对目标区快速进行扫描。采集目标及地物背景回波,进行脉冲压缩、相参积累等处理,获得目标的一维距离像及单脉冲波束锐化图像。

### (3) 目标识别捕获

利用获取的图像,提取目标的特征信息,检测超过一定门限的峰值信号,识别出待攻击目标,实现对目标的捕获,同时,采用平滑滤波等技术进行角闪烁抑制处理。

### (4) 目标跟踪

导引头采用和差比幅单脉冲体制提取目标的角度信息,同时,采用数字式比相器,与传统的模拟比相器相比,数字比相器对三通道接收机的相位一致性要求大为降低。单脉冲跟踪精度很高,随着弹目距离的减小、信噪比的提高,其跟踪精度将进一步提高。

当弹目距离小于某值(如 50 m)时,进入导引头的工作盲区,导引头停止输出弹目信息,导弹以惯性飞向目标。

在导引头工作的各个模式中,目标的检测捕获至关重要。考虑到导引头系统采用高分辨雷达体制后,信杂比一般都在 10 dB 以上,而且需检测的目标变成了一定长度的扩展目标,在一维距离像上,表现为一段起伏的回波,而孤立的杂波源或杂波边界在径向上的扩展长度与目标信号相比是比较短的。因此,如果知道待检测目标沿径向的粗略长度,并以该长度为扩展目标检测的基准单位(第二门限),那么,首先设置一预检测门限(第一门限),将超过该门限的散射点检测出来,然后利用这些散射点在径向上的位置信息与基准单位进行比较,则很容易剔除假目标信号和杂波干扰信号,检测出真实的目标信号。而且,在距离向上的目标数目再多,只要其径向分布具有一定的长度,都将被检测出来。这种方法利用了目标前后散射点的位置相关信息。

## 4 导引头制导性能分析

### 4.1 参数设置

设置导引头工作参数如下:工作频段为 W 频段;发射功率 300 mW;发射信号形式为 LFM CW;发

射脉冲重复频率 8 kHz;调频带宽 400 MHz;天线尺寸为 160 mm × 60 mm(收发天线分开);和波束增益 35 dB;和波束宽度 1.4° × 3.6°;天线形式为平板裂缝天线;天线方位扫描范围 ± 20°;俯仰扫描范围 - 20° ~ + 20°;测角方法为二维单脉冲。

### 4.2 导引头的测距精度

雷达的测距精度  $\sigma_R$ ,即距离误差可用下式表示<sup>[5]</sup>:

$$\sigma_R = \sqrt{\sigma_G^2 + \sigma_N^2 + \sigma_l^2 + \sigma_C^2 + \sigma_A^2 + \sigma_F^2 + \sigma_D^2 + \sigma_T^2} \quad (5)$$

式中,  $\sigma_G$  为距离单元量化误差,  $\sigma_N$  为噪声引入的误差,  $\sigma_l$  为脉冲前沿抖动误差,  $\sigma_C$  为杂波与干扰引入的误差,  $\sigma_A$  为多路径引入的误差,  $\sigma_F$  为目标闪烁引入的误差,  $\sigma_D$  为距离多普勒耦合误差,  $\sigma_T$  为传播引入的误差。

根据上述各项计算结果,计算出导引头的距离精度  $\sigma_R = 0.986$  m。

### 4.3 方位与俯仰测角精度

导引头的主要测角误差包括表 1 的各分量<sup>[6]</sup>。

表 1 导引头的主要角误差分量

Table 1 Main angle error element of seeker		
误差源	随机误差	系统误差
与导引头相关	接收机热噪声	和差比较器前后相位失衡(引起电轴漂移)
	多路径	和差比较器幅度失衡(引起电轴漂移)
	伺服噪声	伺服不平衡及漂移 和、差通道隔离度不好 交叉极化耦合
与目标相关 与传播相关	角闪烁	动态滞后 天线罩的瞄准线误差

根据导弹飞行情况和导引头参数设计,按照角误差最大的情况通过捷变频、平滑滤波改善后的目标的方位、俯仰的导引头电轴测角误差估计结果见图 2。

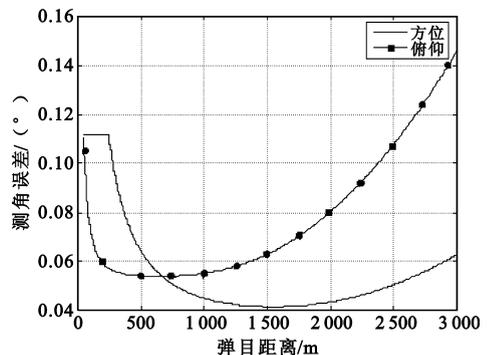


图 2 导引头的电轴测角误差

Fig. 2 The electricity axis angle error of seeker

从图中可以看出,跟踪段(假定从2.5 km开始跟踪)方位/俯仰测角误差最大值为 $0.12^\circ$ ,近距离时方位/俯仰测角误差 $\delta$ 小于 $0.2^\circ$ 。

#### 4.4 方位与俯仰角速率精度

目标跟踪视线角速率误差直接决定导弹最终的命中精度,目标视线角速率误差主要由电轴测角误差及导引头跟踪回路角速率误差引起。综合这几类误差分量,计算导引头方位与俯仰的角速率误差如图3所示。

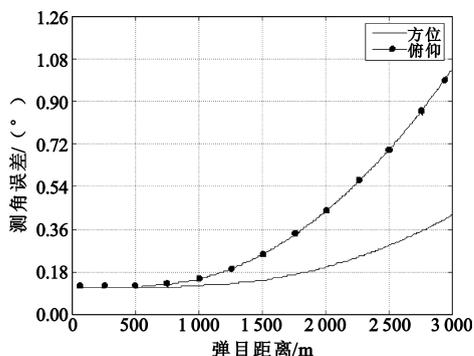


图3 导引头的角速率精度

Fig.3 The angle velocity error of seeker

从图3可以看出,导引头的角跟踪精度在远距离时较大,难以满足系统要求。随着距离的逐渐减小,小于1.4 km时角速率误差也越来越小,低于 $0.2^\circ/\text{s}$ 。

通过上述分析可知,为满足较高的制导性能,反装甲导弹雷达导引头在进行系统设计时,需采用以下技术:

- (1)采用高分辨距离信号,有利于提高反装甲雷达导引头对目标的识别和检测能力,提高测距精度;
- (2)采用较高的工作频段,在有限的空间中获得较高的天线增益和窄的波束宽度,提高导引头的信噪比和测角精度;
- (3)采用连续波体制,降低导引头的峰值发射功率和被截获概率。

## 5 结论

本文在对反装甲雷达导引头采用的信号形式、工作过程进行设计分析的基础上,采用一组具有代表性的导引头参数,仿真论证导引头达到的制导性

能,较为全面地对导引头系统设计的主要参数进行了论证,可为科研人员进行导引头设计提供相关的技术支撑。对处于复杂环境下的装甲目标,仅采用雷达导引头存在一定的困难,应采用与其他制导方式(如红外等)复合进行制导。

#### 参考文献:

- [1] 胡体玲. 3mm波段高分辨力单脉冲雷达技术研究[D]. 南京:南京理工大学,2007.  
HU Ti-ling. Research on Technique of Three Millimeter Wave Band High Resolution Monopulse Radar[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2007. (in Chinese)
- [2] 陈金. 毫米波频率步进导引头的信号处理[D]. 南京:南京理工大学,2004.  
CHEN Jin. Signal Processing of Stepped Frequency System which is Applied in Millimeter Wave Seeker[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2004. (in Chinese)
- [3] 习远望,张江华,刘逸平. 空地导弹雷达导引头最新技术进展[J]. 火控雷达技术,2010,39(2):17-22.  
XI Yuan-wang, ZHANG Jiang-hua, LIU Yi-ping. The Latest Technique Progress on Air to Ground Radar Seeker [J]. Fire Control Radar Technology, 2010, 39(2): 17-22. (in Chinese)
- [4] 翟厚明. 线性调频连续波雷达导引头信号处理系统研究[D]. 南京:南京理工大学,2005.  
ZHAI Hou-ming. Research on LFMCW Radar Seeker Signal and Information Processing System[D]. Nanjing: Nanjing University of Science & Technology, 2005. (in Chinese)
- [5] 王德纯,丁家会. 精密跟踪测量雷达技术[M]. 北京:电子工业出版社,2006.  
WANG De-chun, DING Jia-hui. precision tracking and instrumentation radar technology [M]. Beijing: Publishing House of Electronic Industry, 2006. (in Chinese)
- [6] 张娇云. 单脉冲雷达导引头建模与仿真研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2006.  
ZHANG Jiao-yun. Modeling and Simulation of Single Pulse Radar Seeker[D]. Xi'an: Xidian University Press, 2006. (in Chinese)

#### 作者简介:

何均(1975—),男,四川西充人,硕士,工程师,主要研究方向为雷达系统设计。

HE Jun was born in Xichong, Sichuan Province, in 1975. He is now an engineer with the M.S. degree. His research concerns radar system design.

Email: hjsxwl@sina.com