

阵列式射频仿真系统中目标全极化回波模拟方法研究

刘宇 李亭 顾振杰

(中国人民解放军 91336 部队 秦皇岛 066326)

摘要: 本文主要针对反舰导弹末制导雷达极化抗干扰试验需求,开展阵列式射频仿真试验系统可变极化模拟方法研究。提出了一种目标全极化回波模拟方法,该方法充分考虑目标运动对其极化特性影响,准确描述导弹、飞机等目标高速运动状态下的极化散射特性。根据该方法,采用 Simulink 进行了典型舰船目标全极化回波仿真,仿真结果表明水平\垂直极化通道回波变化规律同实测数据变化规律保持一致,说明该方法的正确性。研究成果可直接应用于靶场装备建设和试验工作中,为装备建设和导引头试验提供理论基础和技术支撑。

关键词: 极化模型;阵列式射频仿真系统;全极化回波模拟

中图分类号: TP911 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6020

Research on targets full polarization echoes simulation with RF simulation array system

Liu Yu Li Ting Gu Zhenjie

(Unit 91336 of PLA, Qinhuangdao 066326, China)

Abstract: Aimed to the request of anti-ship missile terminal guidance radar polarization anti-jamming test, researching on variable polarization simulation method with RF simulation array system. This paper suggested a new method of targets full polarization echoes simulation. It's completely considered the inference of moving targets to polarization characteristics, and correctly described targets such as missile and plane polarization scatter characteristics in moving state. According to this method, the full polarimetric echo simulation of a typical ship target is carried out by using Simulink. The simulation results show that the variation of echo of horizontal and vertical polarization channels is consistent with the observed data. The study results can directly applied on equipment building and test work, provided theoretical basis and technical support.

Keywords: polarization model; RF simulation array system; full polarization echoes simulation

1 引言

阵列式射频仿真系统是在实验室条件下,以射频辐射的方式复现雷达寻的制导导弹在拦截目标过程中所面临的射频目标及各种复杂电磁环境。由于阵列射频系统具有试验条件可控、保密性强,可重复、适应性强等优点,在国内外军事领域有着广泛的应用。

近年来,随着目标极化散射特性研究的不断深入,充分利用和挖掘目标回波极化信息,为末制导雷达性能改善及抗干扰能力的提升,提供更加广阔的空间。雷达极化相关研究受到越来越广泛的关注^[1-4]。

目前雷达极化的相关研究主要集中在雷达目标极

化特征提取与识别、动态目标极化特征测量以及极化雷达抗干扰等方面。随着研究的深入,一些新的理论和方法不断被提出。例如,动态目标宽带极化特征优选与识别方法,基于全极化 OFDM 波形的目标宽带极化特性测量方法,基于空域极化特性的假目标干扰鉴别方法等^[5-10]。

如何将这些新的极化理论方法同射频仿真系统结合,实现半实物仿真系统全极化目标回波模拟,在国内外的相关研究还不多。主要针对反舰导弹末制导雷达极化抗干扰试验需求,开展阵列式射频仿真试验系统可变极化模拟方法研究。以静态条件下目标极化特性测量数据为基础,考虑目标运动对其极化特性的影响,

收稿日期:2015-08

提出了一种目标全极化回波模拟方法,该方法能准确描述导弹、飞机等目标在高速运动状态下的极化散射特性,并通过阵列式射频仿真试验系统精确复现导引头回波的极化特性。研究成果可直接应用于装备建设和试验工作中,可为装备建设和导引头试验提供理论基础和技术支撑。

2 阵列式射频仿真试验系统简介

作为一个典型的、功能齐全的阵列射频仿真系统,主要由7部分组成,包括:微波暗室、射频信号生成系统、目标阵列及阵列馈电控制系统、计算机控制系统、目标及环境模型数据库、监控台与记录显示设备,如图1所示。

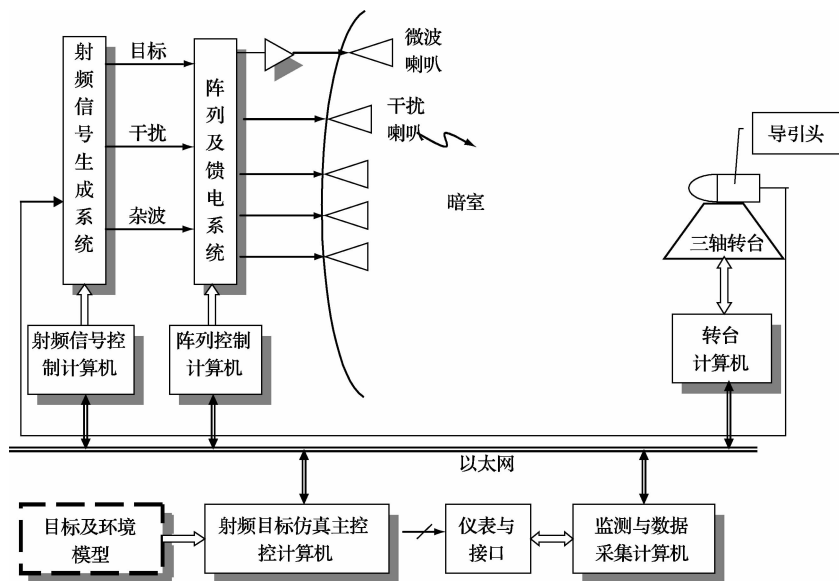


图1 阵列射频仿真系统组成

微波暗室主要用于在实验室内提供一个电磁波的自由传播空间;目标阵列及阵列馈电控制系统用于辐射目标及背景的射频模拟信号,并实现目标角度位置控制;射频信号生成系统主要用于控制产生目标及背景的射频模拟信号;计算机控制系统主要对射频目标仿真系统进行实时控制;目标及环境模型数据库主要用于提供目标及环境特性仿真数据;校准系统主要用于校准目标阵列辐射单元的空间位置以及目标阵列的射频参数;监控台与记录显示设备主要对试验过程进行监测,显示并记录各项试验数据。

3 极化模型半实物仿真实现方法

目标全极化回波模拟的总体思路是:首先,根据导弹参数及弹道模型计算出当前时刻导弹的位置及姿态信息,其次,根据导弹的位置姿态及目标的位置姿态通过多次坐标变换计算出弹体系下目标姿态角序列,再次通过箔条、目标及干扰的极化模型,采用查表方式得到当前姿态角下目标极化散射特性数据,并结合雷达发射功率、发射/接收天线增益、系统损耗、发射波形等性能参数,以及目标与雷达距离、计算出目标当前姿态下目标动态回波数据,最后利用该计算结果控制极化控制模块生成目标回波信号。半实物目标全极化回波仿真流程如图2所示。

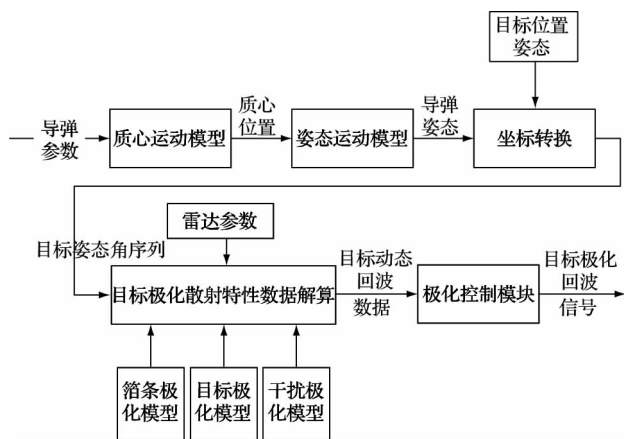


图2 半实物目标全极化回波仿真流程

3.1 导弹空中运动模块

导弹在空中运动的质心运动和姿态运动可用导弹运动方程组描述。该导弹的空间运动方程组是一组非线性常微分方程,共包含20个方程。在给定各参数的初始条件之后,即可用数值积分求解方程组,从而获得可控弹道及其相应的参数变化规律。

根据导弹空间运动方程组,采样 Simulink 仿真实现,导弹模型解算模块如图3所示。该模块主要由以下几个单元组成。

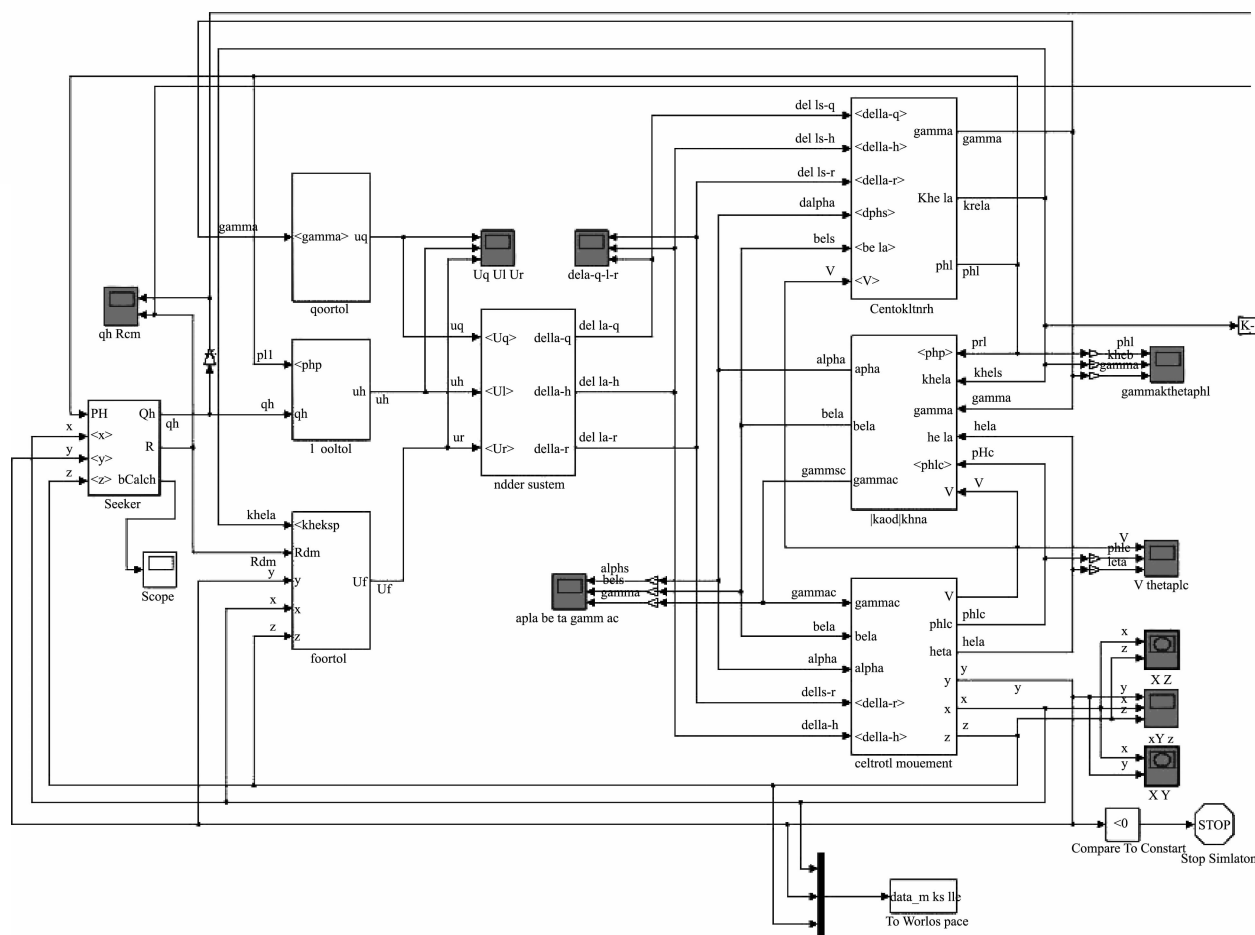


图3 导弹模型解算模块

1) 弹体动力学/运动学解算单元

该单元主要用于模拟导弹受控条件下的位移运动和姿态运动。输入为制导控制系统的控制量,输出为导弹的位置、速度、姿态参数。

2) 制导控制单元

制导控制单元主要用于模拟弹载计算机的制导控制功能。主要是在导引头给出的目标信息控制下,按指定制导律计算各舵机的控制量,输出至弹体动力学/运动学模块,控制导弹追踪目标。

3) 导引头单元

导引头单元主要负责弹目相对位置关系计算。主要

工作过程是,根据输入的实时导弹位置、目标位置,模拟导引头进行目标角度、距离检测,检测能力与导引头性能指标相匹配,检测结果输出至制导控制系统。

3.2 目标极化散射特性解算模块

通过前面弹道模型及坐标转换计算出目标姿态角序列后,结合所构建的箔条、目标及干扰的极化模型,采用查表方式得到当前姿态角下目标极化散射特性数据,并结合雷达发射功率、发射/接收天线增益、系统损耗、发射波形等性能参数,以及目标与雷达距离、计算出目标当前姿态下目标动态回波数据。目标极化散射特性解算模块如图4所示。

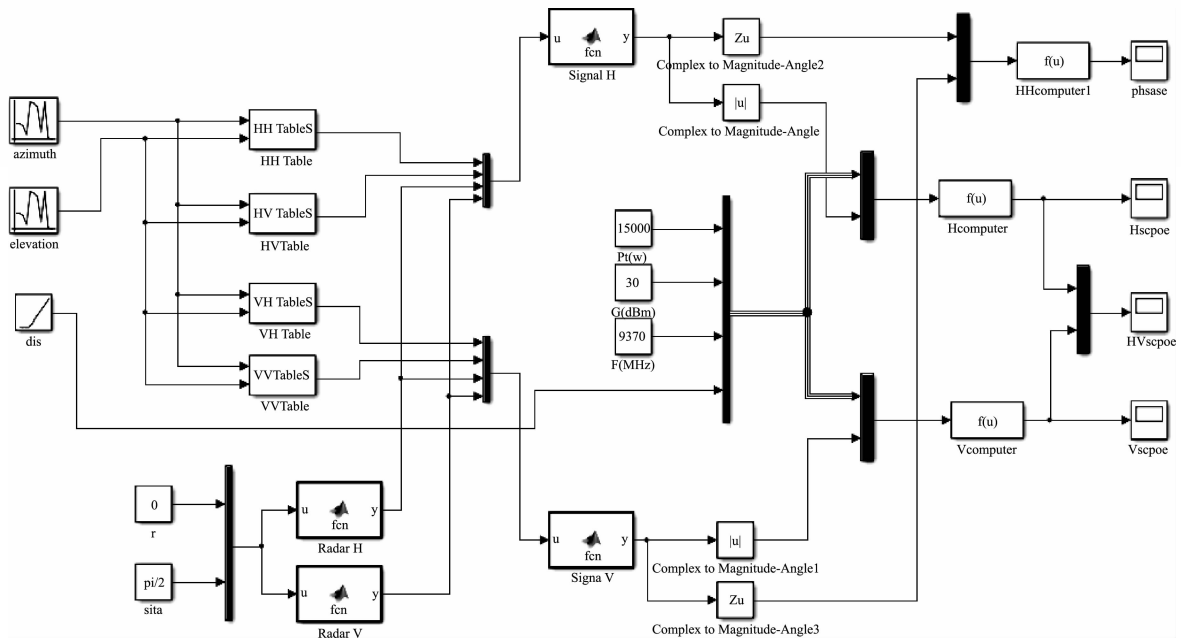


图4 目标极化散射特性解算模块

目标极化散射特性解算模块由 simulink 仿真实现。该模块输入参数有 3 个,分别为当前仿真周期导弹与目标相对方位角、俯仰角和距离。解算后输出结果为主极化通道、交叉极化通道回波信号。该极化计算模块主要由以下几个部分组成:

1) 极化数据加载单元

极化数据加载单元主要功能是根据当前导弹与目标相对方位角、俯仰角等参数加载指定频率点极化模型数据。数据主要包括 HHTable、HVTable、VVTable、VHTable 4 个极化表格。

2) 发射信号极化模拟单元

发射信号极化模拟单元主要功能是将雷达发射信号分解为水平极化和垂直极化信号。

3) 极化解算单元

极化解算单元主要功能是将目标及箔条极化散射矩阵同雷达发射信号相乘得到水平、垂直两个通道的回波信号。根据计算式(1),极化解算单元分为水平通道解算和垂直通道解算两部分。图 5 为垂直通道极化解算模块,水平通道极化解算模块与垂直通道极化解算模块类似。

$$\begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ V \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{HH} \cdot H + S_{HV} \cdot V \\ S_{VH} \cdot H + S_{VV} \cdot V \end{bmatrix} \quad (1)$$

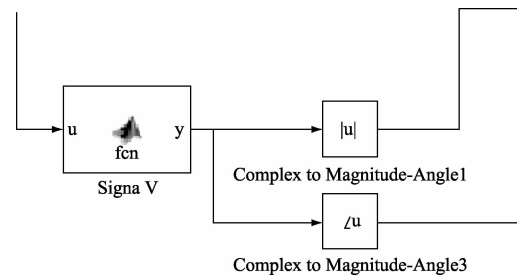


图5 垂直通道极化解算模块

4) 距离衰减计算单元

距离衰减计算单元主要功能是结合雷达发射功率、发射/接收天线增益、系统损耗、发射波形等性能参数,以及目标与雷达距离,计算出目标及箔条动态回波数据。

5) 结果显示单元

结果显示单元主要用于显示仿真计算结果。该单元除了显示水平通道回波数据、垂直通道回波数据外,还可将两通道回波数据进行比对显示。

4 仿真计算

导弹模型解算模块同目标极化散射特性解算模块结合可实现目标极化特性仿真计算。目标极化特性仿真系统结构如图 6 所示。

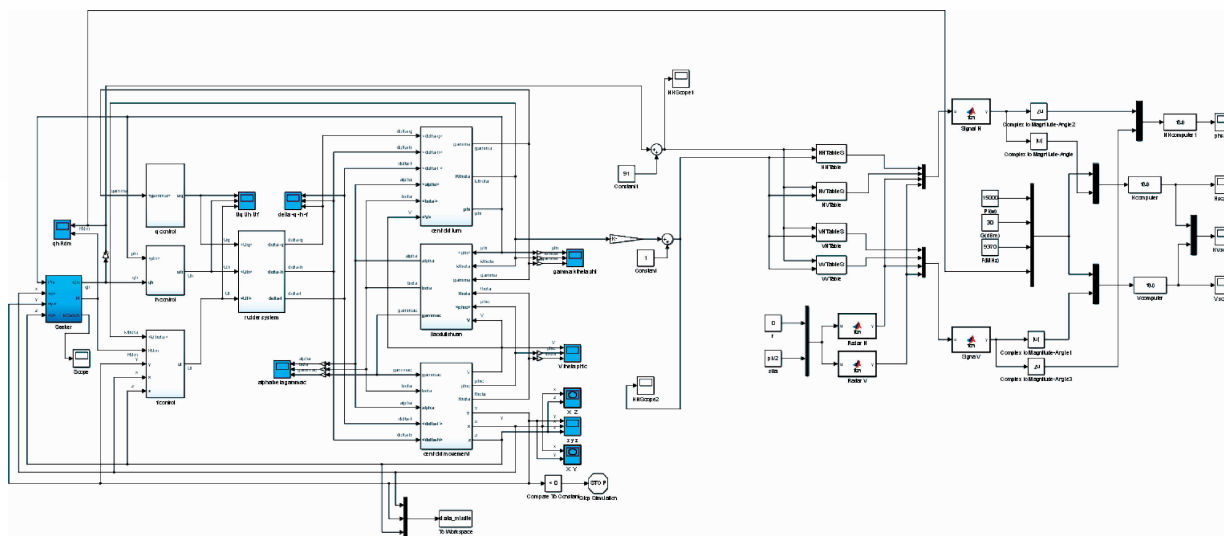


图6 目标极化特性仿真系统结构

仿真参数如下所示:

导引头参数:雷达发射功率:14 000 W;天线增益:27 dB;工作频率:16 GHz;极化方式:垂直极化发射,水平垂直接收。

导弹参数:导弹速度,0.8 Mach;导弹初始位置(发射点坐标系):(0,0,0) km;发射方向:指向目标;末制导雷达开机时刻:发射后40 s。

目标参数:目标类型,舰船;目标初始位置(发射点坐标系):(20000,0,0) km;运动速度:2 m/s;速度方向:垂直于导弹来袭方向(-90°)。

仿真结果如图7~11所示。从仿真结果可以看出在该弹目夹角下,导引头水平极化通道回波功率比垂直极化通道回波功率大20~30 dBm,并且随着弹目夹角不断变化,两通道功率比值也不断变化。

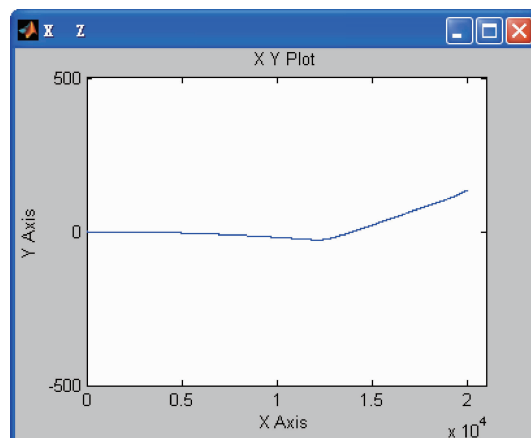


图8 弹道俯视图

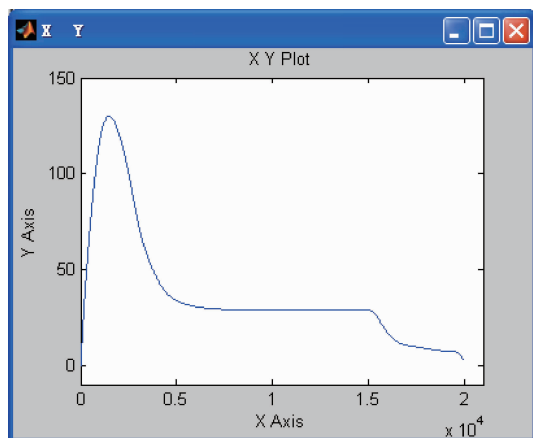


图7 弹道侧视图

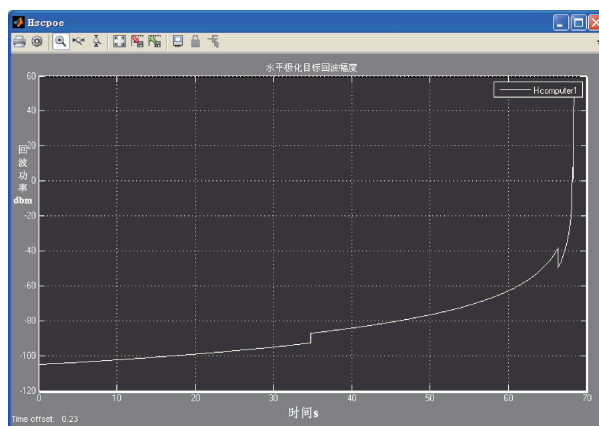


图9 垂直极化通道目标回波功率

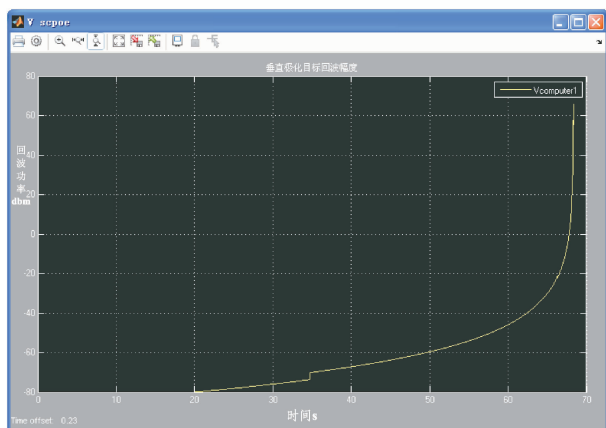


图10 水平极化通道目标回波功率

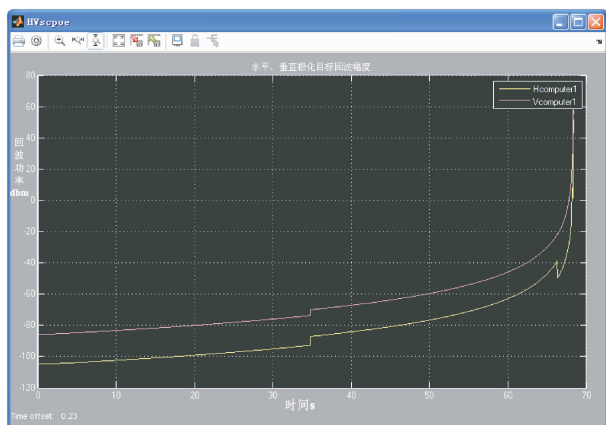


图11 垂直、水平极化通道目标回波功率

采用的箔条、目标及干扰的极化模型都是以静态条件下目标极化特性测量数据为基础的,部分目标的极化模型是通过构建高精度目标几何模型,再利用 CST、feko 等电磁计算软件计算出特定频率点目标极化模型,最后结合外场测量数据进行模型修正。

从仿真结果可以看该舰船目标水平极化通道回波功率、垂直极化通道回波功率变化曲线,水平\垂直极化通道回波比值变化曲线同实际测量变化规律保持一致,说明该模拟方法的正确性,可有效解决阵列式射频仿真试验系统目标全极化回波模拟问题。

5 结 论

主要针对反舰导弹末制导雷达极化抗干扰试验需求,

开展阵列式射频仿真试验系统可变极化模拟方法研究,提出了一种目标全极化回波模拟方法,该方法充分考虑目标运动对其极化特性影响,准确描述导弹、飞机等目标在高速运动状态下的极化散射特性,其研究成果可直接应用于装备建设和试验工作中,为装备建设和导引头试验提供理论基础和技术支撑。

参 考 文 献

- [1] SINCLAIR G. The transmission and reception of elliptically polarized waves[J]. Proceedings of the IRE, 1950;38(2):148-151.
- [2] NATHANSON F E, NATHANSON F E. Adaptive circular polarization[A]. International Radar Conference, 1975:221-225.
- [3] POELMAN A J. Virtual polarization adaptation; a method for increasing the detection capability of a radar system through polarization-vector processing[J]. Iee Proceedings F, 1981;128(5):261-270.
- [4] 刘隆和,姜永华,许爱强. 海军战术导弹对抗与反对抗技术[M]. 北京:海潮出版社 1999:8-18;92-93.
- [5] 贾鑫,郭桂蓉. 反舰导弹末制导雷达抗箔条干扰的一种方法[J]. 舰船电子对抗,1998(3):21-22.
- [6] 曲长文. 雷达抗欺骗性干扰度量方法[J]. 航天电子对抗,1995(3):34-37.
- [7] 李幸,张洋,陈力. 反舰导弹末制导雷达抗距离欺骗干扰技术研究[J]. 航天电子对抗,2008;24(1):13-16.
- [8] 孙卫东,林晖. 毫米波制导技术对反舰导弹作战性能的主要影响[J]. 飞航导弹,2004(9):47-50.
- [9] 俞建,赵杰. 远场暗室条件下圆极化天线增益不同测试方法分析研究[J]. 国外电子测量技术,2014,33(9):34-36.
- [10] 张锐,洪峻,明峰. 基于极化相识度的全极化 SAR 自动目标识别算法[J]. 国外电子测量技术,2010,29(5):24-27.

作 者 简 介

刘宇,1979 年出生,工程师。

E-mail:liuyu12592@163.com