

# 机械扫描天线电磁计算与距离像特征分析

程永强, 秦玉亮, 李彦鹏, 王宏强, 黎 湘

(国防科学技术大学电子科学与工程学院, 湖南 长沙 410073)

**摘 要:** 针对主动雷达导引头对防空导弹武器系统制导雷达站检测与识别的需求, 研究了机械扫描天线电磁散射特性的计算方法, 并对其距离像特征进行了分析。首先采用图形电磁算法对反射面天线的电磁散射特性进行了建模和计算, 然后利用其宽频带雷达散射截面计算数据合成天线的一维距离像, 进而对不同姿态下天线的距离像特征进行了分析。结果表明, 由于天线的旋转, 距离像序列的强度、宽度和位置呈现周期性的变化规律, 从而为采用距离像序列对机械扫描天线进行识别以及对旋转周期和尺寸等参数的估计提供了可能。

**关键词:** 机械扫描天线; 图形电磁计算; 距离像序列; 目标识别

**中图分类号:** TN 957

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.3969/j.issn.1001-506X.2010.11.13

## Electromagnetic computation of mechanical scanning antenna and characteristic analysis of its HRRP

CHENG Yong-qiang, QIN Yu-liang, LI Yan-peng, WANG Hong-qiang, LI Xiang

(School of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** A graphical electromagnetic computing method for the mechanical scanning antenna is presented for detection and recognition to the guiding radar of air defense missile weapon system (ADMWS) using an active radar seeker. Firstly the electromagnetic scattering characteristic of the antenna is calculated using the graphical electromagnetic computation (GRECO) method, and then the high range resolution profile (HRRP) of the antenna is synthesized based on the wide-band calculation data. Finally the characteristics of range profiles of the antenna are analyzed. The results show that there are periodic changes such as intensity, width and distance in a series of HRRPs due to the rotation of the antenna, and it provides the possibility to estimate the size and rotation period of the antenna as well as to identify the mechanical scanning antenna using a series of HRRPs.

**Keywords:** mechanical scanning antenna; graphical electromagnetic computation; high range resolution profiles (HRRP); automatic target recognition

## 0 引 言

反辐射导弹是打击地空导弹阵地制导雷达、预警雷达等目标的主要硬杀伤武器之一, 在现代的几场实战中均取得了辉煌的战果, 反辐射对抗技术日益受到世界各国的普遍重视<sup>[1]</sup>。为了提高传统的被动体制反辐射导弹的抗雷达关机、抗诱偏干扰和真假目标识别能力, 采用主被动复合制导成为未来反辐射导弹的一个重要发展方向<sup>[2]</sup>。典型地面防空单元一般包括制导雷达站、控制车、导弹发射架、电源车等, 为提高反辐射导弹的作战效能, 主动导引头必须具有从各类目标中选择识别雷达站的能力。而对雷达天线电磁散射特性的研究是提取天线有效特征, 实现对其识别的主要依据。

反射面天线是地面防空单元应用最广泛的天线类型之一, 如“霍克”地空导弹系统采用抛物面天线实现对目标的

搜索、跟踪和导弹的半主动制导。针对雷达天线电磁散射特性的研究, 文献[3]介绍了雷达天线的电磁散射机理, 并研究了反射面天线雷达散射截面 (radar cross section, RCS) 的解析计算方法。通过研究发现, 采用以上解析方法计算天线 RCS 存在较大的局限性, 如可计算的入射角范围较小, 计算辐射积分容易出现发散等问题。鉴于此, 需要考虑通用的电磁计算方法来进行相应的计算和分析。

针对解析计算方法的不足, 本文采用新的图形电磁计算方法对反射面天线的电磁散射特性进行了计算和分析。首先给出了反射面天线面元散射场和棱边散射场的计算原理, 然后针对目标识别的需要, 利用宽频带 RCS 计算数据合成天线的高分辨一维距离像。最后, 通过对不同姿态下高分辨距离像特性的分析, 指出可以利用距离像序列来实现对机械扫描天线的识别。

收稿日期: 2009-06-15; 修回日期: 2010-07-09。

基金项目: 武器装备预研基金 (9140A03020408KG0109) 资助课题

作者简介: 程永强 (1982-), 男, 博士研究生, 主要研究方向为精确制导、目标识别。E-mail: cyq101600@126.com

## 1 天线电磁散射的计算

对天线的散射特性进行研究是识别的基础,文献[3]采用解析方法对反射面天线的 RCS 进行了计算,即采用几何光学法求解天线的镜面反射场,用等效电磁流法求解反射面边缘的绕射场,进而求得总散射场。如本文引言中所述,采用解析方法计算天线 RCS 存在较大的局限性,其可计算的入射角范围较小(如文献[3]只给出了  $30^\circ$  以内的计算结果),计算辐射积分容易出现发散等问题,而且不能计算天线背面的散射场。鉴于此,本文考虑采用图形电磁计算方法来进行计算和分析。

图形电磁计算方法(graphical electromagnetic computation, GRECO)是 Rius J M<sup>[4]</sup>提出的一种计算电大尺寸复杂目标 RCS 的有效方法。它充分利用了计算机显示硬件的图形加速功能,通过不同的光照模式,巧妙地获得目标表面上每一像素点处的法向量,并且利用计算机图形加速卡的深度缓存(Z-Buffer)来获得目标表面上每一像素点处的深度信息,准确地计算出散射元之间的相位关系,结合复杂目标在高频区的物理光学法和物理绕射理论,可以准确地获得目标表面上每一像素点处的散射场及绕射场,目标的总散射场则可以由这些离散点处的散射场相干叠加而获得<sup>[5]</sup>。近年来, GRECO 方法在复杂目标电磁散射计算<sup>[6-9]</sup>、雷达回波信号仿真<sup>[10-11]</sup>、雷达宽带成像<sup>[12]</sup>等方面得到了广泛的应用。

本文采用 GRECO 方法来计算天线的 RCS,其对镜面反射场和边缘绕射场的处理如下:

### 1.1 反射面面元散射场的计算

根据 Stratton-Chu 积分方程,在远场条件下金属目标的镜面散射场可以表示为

$$\mathbf{E}^s = -j2k\eta_0 \varphi \int_s \hat{s} \times [\hat{s} \times (\hat{n} \times \mathbf{H}^i)] \exp(2j\mathbf{k}\mathbf{r} \cdot \hat{s}) ds \quad (1)$$

式中,  $\mathbf{H}^i$  为表面上某点的入射磁场强度;  $\hat{n}$  为表面向外的单位法矢量;  $\hat{s}$  为沿散射方向的单位矢量;  $\mathbf{r}$  为从参考点指向曲面上任意点的矢量;  $\int_s$  为对照明面的积分;  $k=2\pi/\lambda$  为波数;  $\eta_0$  为自由空间波阻抗;  $\varphi = \exp(-jkr)/4\pi r$  为自由空间标量格林函数。

设入射方向沿  $-\hat{z}$  方向,则在单站情形下散射场变为

$$\mathbf{E}^s = -\frac{j k \eta_0 \exp(jkr) \hat{z} \times \mathbf{H}^i}{2\pi r} \int_s (\hat{z} \cdot \hat{n}) \exp(2jkz) ds \quad (2)$$

而

$$\mathbf{E}^i = \eta_0 \hat{z} \times \mathbf{H}^i \quad (3)$$

则后向散射场为

$$\mathbf{E}^s = -\frac{j k \exp(jkr) \mathbf{E}^i}{2\pi r} \int_s (\hat{z} \cdot \hat{n}) \exp(2jkz) ds \quad (4)$$

由雷达散射截面定义,目标 RCS 为<sup>[13]</sup>

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \left| \frac{\mathbf{E}^s}{\mathbf{E}^i} \right|^2 = \frac{k^2}{\pi} \left| \int_s (\hat{z} \cdot \hat{n}) \exp(2jkz) ds \right|^2 = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \int_s \cos \theta \exp(2jkz) ds \right|^2 \quad (5)$$

式中,  $\theta$  为面元法向量与入射方向之间的夹角;  $z$  是面元  $ds$  到观察点的距离;  $ds$  是照亮区的面积。根据 GRECO 方法的思想,屏幕上每点都对应散射体表面的一小块面元,那么散射体表面的积分也就转化为对屏幕上每个像素点进行积

分,根据几何关系有

$$ds' = \cos \theta ds \quad (6)$$

因而

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \int_{\text{SCREEN}} \exp(2jkz) ds' \right|^2 \quad (7)$$

将屏幕离散为大小一致的像素点,则式(7)变为<sup>[4]</sup>

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \sum_{\text{PIXELS}} \exp(2jkz) \Delta s \right|^2 \quad (8)$$

式中, PIXELS 表示所有像素点;  $\Delta s$  为一像素点面积。

式(8)表示出目标图像上所有像素点之间的相位效应,它是观察者到该点距离因子  $z$  引起的。

分析指出,仅当像素点作为一个极小的天线辐射(即当它对应的面元  $ds$  为电小尺寸)时,式(8)才成立。通常不能假定每个像素点为无限小散射元的辐射,对这种情况的处理方法是,将像素点等效为一个均匀辐射的矩形天线,它对远场的贡献可用 *sinc* 函数近似,离散化物理光学表面积分可表示为<sup>[4]</sup>

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} \left| \sum_{\text{PIXELS}} \sin c(kl \tan \theta) \exp(2jkz) \Delta s \right|^2 \quad (9)$$

式中,  $l$  为屏幕上正方形像素点的边长;  $l/\cos \theta$  为该像素点对应面元  $ds$  的边长。

### 1.2 反射面棱边散射场的计算

棱边散射场的计算采用等效电磁流(method of equivalent currents, MEC)方法。根据高频理论,棱边产生的远区散射场可看成是其上一等效线电流的辐射。等效电磁流大小由入射方向和观察点相对棱边的方向来决定,因而沿着棱边该值大小不是常数<sup>[14]</sup>。等效电流通常表示为一些增量长度绕射系数的函数。

由等效电磁流计算棱边远区单站散射场,可表示为<sup>[15]</sup>

$$\mathbf{E}^d = \mathbf{E}^i \frac{\exp(-jkr)}{2\pi r} \int_{\text{edge}} [-D_{\parallel} \sin \gamma \hat{e}_{\parallel} - D_{\perp} \cos \gamma \hat{e}_{\perp}] \exp(2jkz) dl' \quad (10)$$

式中,线积分沿着入射波照亮的棱边进行;  $\hat{e}_{\parallel}$  和  $\hat{e}_{\perp}$  对应于平行和垂直于入射面(由入射线和棱边决定)的方向矢量;  $\gamma$  为入射电场和  $\hat{e}_{\perp}$  的夹角;  $D_{\parallel}$ 、 $D_{\perp}$  为单站增量长度绕射系数。

GRECO 法由图形加速卡完成最困难最费时的遮挡和消隐工作,通过对目标图像像素点光照与深度信息的处理,得到电磁计算所需参数,散射场计算中的面积分和线积分通过对目标图像像素求和实现,最终得到目标 RCS 计算结果。

## 2 采用宽频带 RCS 计算数据合成天线一维距离像

宽带雷达系统通过发射宽带信号获取高的距离分辨能力,通过对目标回波信号的匹配滤波得到目标高分辨一维距离像。高分辨距离像(high range resolution profile, HRRP)反映了距离轴上目标精细的几何结构特征,为目标的分辨、识别提供了特征信息。

常用的宽带信号有线性调频信号、频率步进信号和相位编码信号等,雷达信号的不同频率分量在不同的时间照射到目标上,不同时刻的回波对应于不同频率的目标散射场,通过对目标散射场的频率响应进行逆傅里叶变换,可以得到单个脉冲作用下的目标回波信号,即目标的一维距离像<sup>[16]</sup>。

结合频率步进的脉冲压缩方法,通过第 1 节中 GRECO

法可以计算得到天线宽频带的 RCS,对接收的不同频率照射下的目标回波,经过 IFFT 匹配滤波,得到天线的一维距离像。通过对不同姿态下高分辨距离像特征的分析,探索有效的识别方法,为后续的旋转天线识别奠定基础。

3 仿真计算与结果分析

3.1 反射面天线电磁散射特性的计算与分析

基于 GRECO 电磁计算方法,利用 AutoCAD 对天线进行建模,采用相应的电磁计算软件,计算了典型反射面天线的宽频带 RCS 数据。其中,RCS 计算结果包括幅度和相位,为一复数值。

参数设置:反射面天线采用典型抛物面天线,天线口径  $2b=6\text{ m}$ ,抛物面深度  $d=0.5\text{ m}$ 。入射波中心频率  $f=35\text{ GHz}$ (mm 波段),带宽  $BW=400\text{ MHz}$ ,跳频间隔为  $\Delta f=1\text{ MHz}$ ,计算的频率范围为  $34.8\text{ GHz}\sim 35.2\text{ GHz}$ ,雷达距离分辨率为  $0.375\text{ m}$ 。天线姿态为  $0^\circ\sim 360^\circ$ (全姿态),姿态角采样间隔为  $10^\circ$ ,每个姿态计算 400 个频点的复 RCS。

利用 AutoCAD 对天线进行了建模,如图 1 所示。其中, $0^\circ$ 为正侧视(视线沿  $x$  轴方向),天线绕  $y$  轴按顺时针旋转, $90^\circ$ 正对天线凹面入射(视线沿  $z$  轴负向), $270^\circ$ 正对天线背面入射。

图 2 为天线在  $35\text{ GHz}$  入射波下的 RCS 计算结果的模值。从图中可以看出,侧向看时天线散射较弱,RCS 较小;沿轴线方向( $90^\circ$ 和  $270^\circ$ 附近)天线散射最强,正面照射和背

面照射天线散射稍有不同,但其散射强度大致相同;天线轴线两侧的散射强度呈对称分布;天线 RCS 最大值在  $30\text{ m}^2$  左右,与天线口径面积相近,即  $S=\pi R^2=\pi\times 3^2=28.274\text{ 3 m}^2$ 。

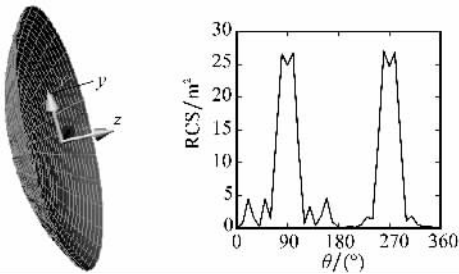


图 1 反射面天线模型 图 2 35 GHz 频点天线 RCS 模值

图 3 给出了不同姿态下天线 RCS 随入射波频率的变化曲线。其中,天线姿态角从  $0^\circ\sim 360^\circ$ ,每隔  $30^\circ$  绘制一个结果。从图中可以看出,天线 RCS 随频率出现类似谐振的振荡形式,其本质是目标高频等效散射中心回波合成的结果,对其频率响应进行逆傅里叶变换,便可得到目标散射中心在时域的回波合成信号,也即目标的一维距离像。当沿反射面轴线方向入射时,即在  $90^\circ$ 和  $270^\circ$ 附近,天线 RCS 随频率变化趋缓,所包含的谐波成分较少,说明该方向天线等效散射中心较少或各散射中心距离很近,有可能位于同一个距离单元内,其回波矢量合成时的相位差较小,这与实际情况也是相吻合的。

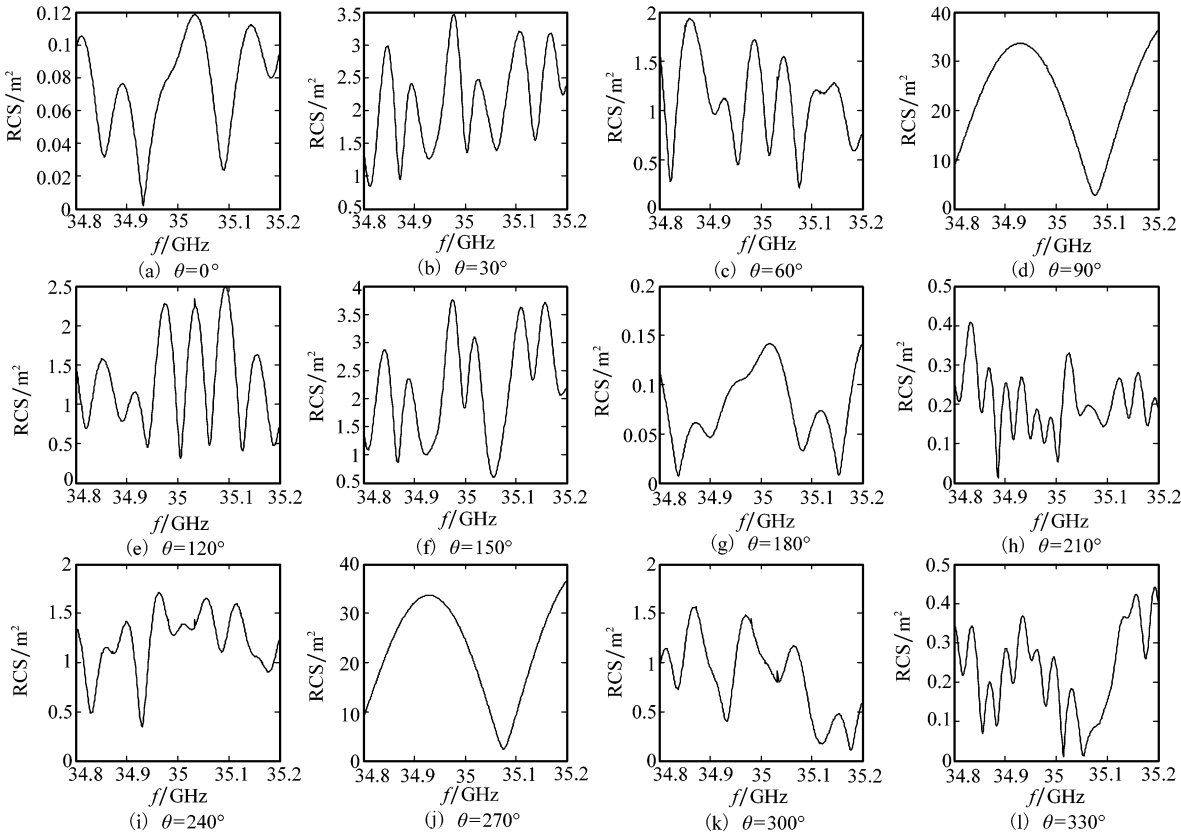


图 3 不同姿态下天线 RCS 频率响应曲线

### 3.2 反射面天线一维距离像序列特征分析

对上述计算得到的 RCS 频率响应数据进行逆傅里叶变换,可以得到不同姿态下反射面天线的一维距离像如图 4 所示,从图中可以看出天线在不同姿态下散射中心的分布特征。当天线处于侧视姿态时,由于其尺寸有一定的径向扩展,天线占据多个距离单元,距离像体现了一定的宽度,其最大宽度与抛物面口径尺寸相近;当天线处于正视姿

态时,天线只占据 1~2 个距离单元,故  $90^\circ$  和  $270^\circ$  时天线距离像近似为一个谱峰。

需要特别指出的是,目标在不同姿态下其散射中心的分布不是固定不变的,故在不同姿态下距离像体现出的散射中心位置和强度分布也是不同的。另外,比较各姿态天线一维距离像可以看出,天线在正视侧视时其距离像宽度并不是最宽的,而是在  $40^\circ$  附近达到最宽,此与目标自身的遮挡等因素有关。

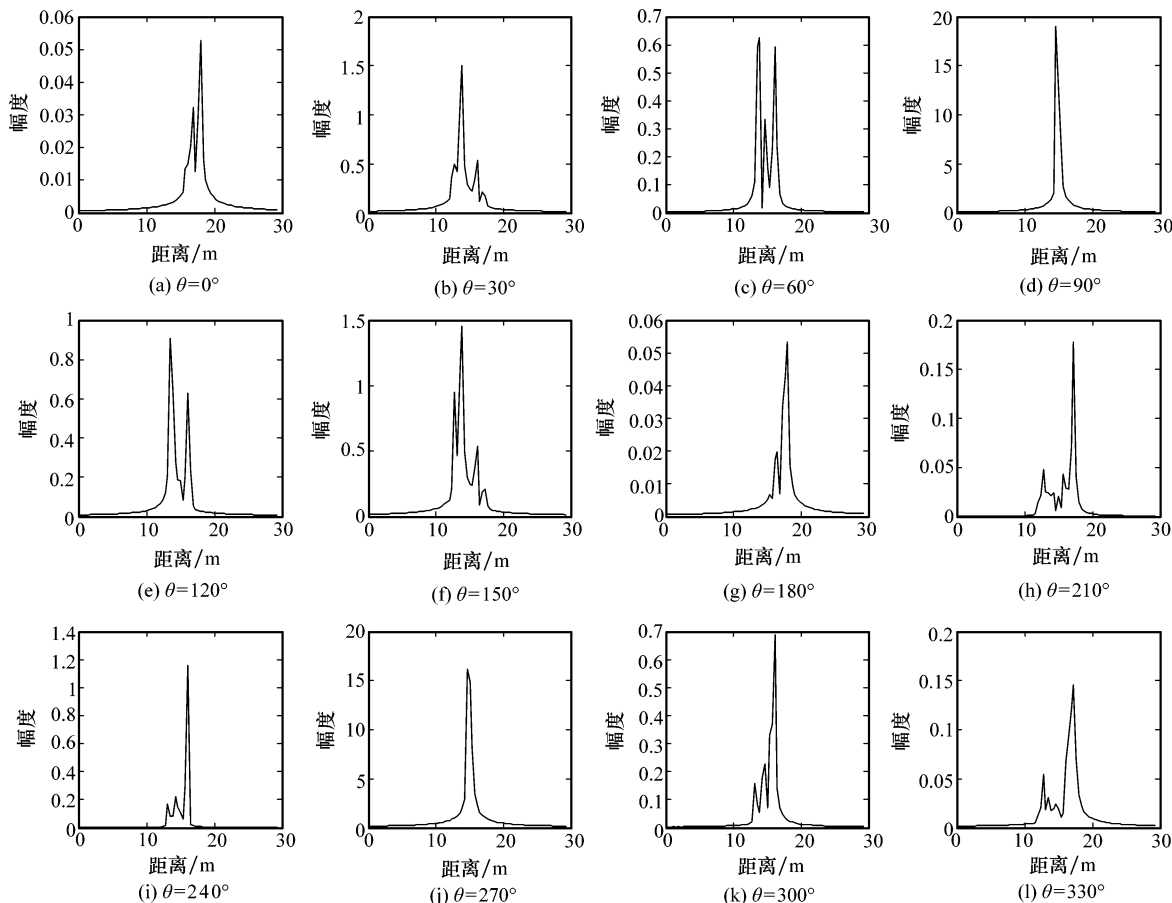


图 4 不同姿态下天线一维距离像

由于反射面天线具有对称结构,其不同姿态角下的距离像也具有对称特征,如  $90^\circ$  (或  $270^\circ$ ) 两侧对称角度的距离像(如  $30^\circ$  和  $150^\circ$  等)形状是相近的。在实际中,由于天线本身的转动,其距离像序列具有周期重复的特性,可以据此进行天线的识别并估计其旋转的周期等参数。

将导弹运动过程中对天线所成的距离像序列进行积累增强和距离补偿后按时序排列在一起,可以发现距离像强度、宽度和位置呈现周期性变化趋势。图 5 为旋转反射面天线一维距离像序列等高线图。其中天线旋转过程中每隔  $10^\circ$  成一幅像,旋转两周共成 72 幅图像。由于天线自身的旋转,图中各距离像不仅强度、宽带有变化,其位置(即距离)也在发生周期性的变化,从而出现图中所示的凹凸变化规律。

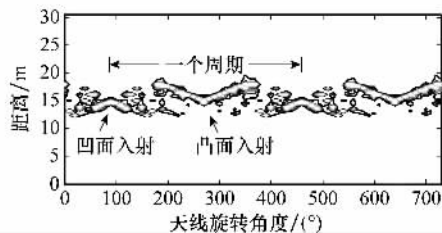


图 5 旋转反射面天线距离像序列等高线图(幅度归一化)

分析图 5 所示的距离像序列可以得出以下结论:

(1) 天线由侧视姿态旋转到正视姿态过程中( $0^\circ \sim 90^\circ$ ),雷达照射天线的凹面,天线与雷达的距离逐渐增大。距离像宽度先增大后减小,约  $40^\circ$  附近达到最大,其与天线口径大小相近;

(2)  $90^\circ$  时天线只占 1~2 个距离单元,  $90^\circ \sim 180^\circ$  旋转过程与  $0^\circ \sim 90^\circ$  对称;

(3) 当天线转到  $180^\circ$  时, 雷达波束由凹面入射转为凸面入射(天线由正面转向背面)。 $180^\circ$  附近两侧距离像的位置发生突变, 变化长度约和天线口径相等, 其原因应是雷达从凹面入射时回波由天线直接反射回来, 而凸面入射时电磁波在反射面背面形成爬行波, 返回后造成回波的延迟, 从而导致距离像位置偏后;

(4) 天线每旋转一周, 距离像重复出现一次。如果已知所成距离像所需的时间, 则可以估算天线旋转的周期。

## 4 结束语

本文采用图形电磁计算方法计算了反射面天线的电磁散射特性数据, 在此基础上, 通过对天线距离像序列特征的分析, 得出天线旋转造成距离像序列强度、宽度和位置的周期性变化规律, 而这些规律为采用距离像序列对旋转天线进行识别提供了可能。实际应用中通过距离像序列对天线尺寸、旋转周期等参数的估计以及具体的识别算法可以作为下一步的研究工作。

## 参考文献:

- [1] 吕科. 防空导弹武器系统与反辐射导弹的对抗研究[J]. 航天电子对抗, 2006, 22(4): 1-4.
- [2] 冯雨, 卞树檀, 李站良. 反辐射导弹及其发展趋势[J]. 战术导弹技术, 2005(4): 1-3.
- [3] 阮颖铮. 雷达截面与隐身技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 183-186.
- [4] Rius J M, Jofre L. High-frequency RCS of complex radar targets in real-time[J]. *IEEE Trans. on Antennas and Propagate*, 1993, 41(9): 1308-1319.
- [5] Yang Z L, Jin L, Li W Q. Accelerated GRECO based on GPU[C]// *Proc. of CIE International Conference on Radar*, 2006: 1-4.
- [6] Lu Z Y, Su D L, Qi W Q, et al. RCS calculation for complex

objects using GRECO[C]// *Proc. of 7th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory*, 2006: 1-4.

- [7] Fang N, Wang G, Wang B F. Near field GRECO by PO and PTD[J]. *Chinese Journal of Electronics*, 2007, 16(4): 758-760.
- [8] Tao Y B, Lin H, Bao H J. From CPU to GPU: GPU-based electromagnetic computing (GPUECO)[J]. *Progress in Electromagnetics Research-Pier*, 2008, 81: 1-19.
- [9] 张君, 邹军, 王光明. 考虑近区多重散射的目标 RCS 图形电磁算法[J]. 系统工程与电子技术, 2010, 32(5): 951-954. (Zhang J, Zou J, Wang G M. RCS predication of a complex object by considering the near-field multi-scattering effect with GRECO[J]. *Systems Engineering and Electronics*, 2010, 32(5): 951-954.
- [10] Yang Z C, Nie L, Jiang W D, et al. Broadband echo simulation based on all-attitude RCS database of ballistic missile[C]// *Proc. of IET International Radar Conference*, 2009: 1-6.
- [11] Du W W, Wang F, Sheng W X, et al. Modeling and simulation of radar echo signal of aircraft targets with GRECO[C]// *Proc. of 8th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory*, 2008: 859-862.
- [12] Zhu J H, Zhou J J, Xia W J. High resolution radar cross section imaging based on complex target backscattering simulation[C]// *Proc. of 8th International Symposium on Antennas, Propagation & EM Theory*, 2008: 577-580.
- [13] Ye S B, Xiong J J. Geometric optimization design system incorporating hybrid GRECO-WM scheme and genetic algorithm[J]. *Chinese Journal of Aeronautics*, 2009, 22(6): 599-606.
- [14] 李晓峰, 谢拥军, 樊君, 等. 考虑棱边散射的半空间复杂导体目标高频分析方法[J]. 物理学报, 2009, 58(2): 908-913.
- [15] Rius J M, Ferrando M, Jofre L. Greco: Graphical electromagnetic computing for RCS prediction in real time[J]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, 1993, 35(2): 7-13.
- [16] 耿福泉, 黄正华, 刘焱. 一维距离像的仿真研究[J]. 电子测量技术, 2006, 29(6): 166-167.

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深, 让许多工程师望而却步, 然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上, 我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识, 借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养, 推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程, 化繁为简, 直观易学, 可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛, 让天线设计不再难...



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书, 课程从基础讲起, 内容由浅入深, 理论介绍和实际操作讲解相结合, 全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程, 可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计, 让天线设计不再难...

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程, 由经验丰富的专家授课, 旨在帮助您从零开始, 全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程, 边操作边讲解, 直观易学; 购买套装同时赠送 3 个月在线答疑, 帮您解答学习中遇到的问题, 让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程, 培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合, 全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作, 同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习, 可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试...

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训：

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力和专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势：

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们：

- ※ 易迪拓培训官网：<http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网：<http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店：<http://shop36920890.taobao.com>