

# 导体圆盘涂覆铁氧体层介质参数变异的电磁特性

许占显, 孔立堵

(空军第一航空学院, 河南 信阳 464000)

**摘要:**采用基于频域矩量法(MOM)与解析法的 Ansoft Designer 软件,计算、分析了导体圆盘基底烧结铁氧体隐身层因裂纹介质参数出现变异的雷达 X 波段高频电磁特性。采用 V 极化波和 H 极化波 2 种情况入射,分别计算与分析,得出:在 8-12 GHz 频带内,因裂纹产生介质参数变异对隐身电磁性能影响较明显。

**关键词:**隐身;介质变异;电磁特性;铁氧体

**DOI:**10.3969/j.issn.1009-3516.2010.03.010

**中图分类号:** TM25; TM15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-3516(2010)03-0044-04

为了实现隐身性能,除了外形设计、结构与总体布局等一系列降低可探测性的措施外,使用吸波涂层,采用吸波材料是雷达隐身技术的一项重要措施。文献[1-2]指出,飞机蒙皮表面的电磁缺陷(如缝隙、螺钉、铆钉等)将对目标的后向雷达散射截面(RCS)产生很大的影响,在进行低 RCS 飞行器设计和进行 RCS 减缩时,这是一个不能忽视的因素;并且,用雷达吸波材料对飞行器表面电磁缺陷进行修复时,材料的涂敷厚度和宽度取决于电磁缺陷的严重程度。仿真计算的便捷性和商业软件的成熟化,电磁隐身模拟研究也是人们关注的方法<sup>[3-8]</sup>。文献[9-10]研究了工业绝缘材料、环氧脂漆涂层、聚酰亚胺薄膜的老化问题,但是,有关涂层缺陷对隐身性能影响的文献很少看到。涂层出现裂纹不会严重危及飞行安全,然而会导致介质性能指标的变异,从而影响飞机的隐身性能,这正是本文研究的问题。

## 1 V 极化波与 H 极化波的入射

本文电磁计算包括垂直入射波(Transverse Magnetic, TM)和水平入射波(Transverse Electric, TE)。入射波的方向和观察的角度根据方位角  $\theta$  和扫描角  $\Phi$  确定, $\theta$  从垂直纸面的  $z$  轴开始度量,介于  $-180^\circ - +180^\circ$ ,扫描角  $\Phi$  从  $x$  轴度量,介于  $0 - 360^\circ$ 。在 Ansoft Designer 中, V 表示 TM 入射波, H 表示 TE。对于 V 垂直极化波 TM,  $\text{phi}(\Phi) = 0$  时的 HH 情况,磁场 H 处于扫描  $\Phi$  方向,电场 E 处于方位角  $\theta$  的方向。相反,对于 H 水平极化波,  $\text{phi}(\Phi) = 0$  时的 HH 情况,电场 E 处于扫描  $\Phi$  方向,磁场 H 处于方位角  $\theta$  的方向。

## 2 雷达散射截面(RCS)

雷达探测目标的能力,是由目标在雷达波照射下,在雷达接收天线方向上产生的电磁散射信号强度即雷达散射截面(RCS)决定的。所以,降低目标的 RCS 值是反雷达探测隐身技术的主要途径,目前已广泛应用的技术有:一是隐身外形技术,就是改进目标的外形设计,即利用计算机辅助设计等现代设计手段,在一定约束条件下对装备及其外形进行优化设计,在保持一定性能的前提下,使其被探测的雷达截面最小。二是隐身材料技术,主要是指采用能吸收或透过雷达波的介质或复合介质,达到预期隐身的目的。假定入射波为平面波,且目标为点散射体,则雷达散射截面 RCS 为:

收稿日期:2009-08-22

作者简介:许占显(1964-),男,山东鄄城人,教授,主要从事无损检测与电磁隐身研究。

E-mail: xuzhanxian@sohu.com

$$\sigma = 4\pi \lim_{L \rightarrow \infty} L^2 \frac{|E^s|^2}{|E^i|^2} = 4\pi \lim_{L \rightarrow \infty} L^2 \frac{|H^s|^2}{|H^i|^2} (m^2)$$

式中: $L$ 为入射距离; $E^i$ 、 $E^s$ 分别为入射电场强度和目标散射波在雷达处的电场强度; $H^i$ 、 $H^s$ 分别为入射磁场强度和目标散射波在雷达处的磁场强度。探测物体的 RCS 与其外形、材料、缺陷、雷达波入射角等因素有关,从电磁场理论角度看,对电磁波隐身问题的研究其实是复杂目标的电磁散射理论问题。

### 3 金属平板基底铁氧体介质层电参数变化的电磁计算模型

电磁模型为:设厚度为 2 mm,直径为 10 mm 的理想导体圆盘。表面涂层为 1.6 mm 厚的烧结铁氧体介质,其介电系数  $\epsilon_r = 19 - 21$ ,电损耗为 0.45,磁导率  $\mu_r = 1 - 3$ ,磁损耗为 10;裂纹缺陷 5 mm,长、宽各为 1 mm。采用辐射边界条件,沿  $\theta = 55^\circ$  倾斜入射,  $\Phi = 90^\circ$  方向平面波照射。假设入射场强为 1 个单位。

### 4 计算与分析

本文计算采用基于频域矩量法(MOM)与解析法的 Ansoft Designer 软件。采用 V 极化波和 H 极化波 2 种情况入射,分别计算与分析。解算频率选为 1 GHz,自适应网格步数为 6,每步收敛标准为 0.05。在 8 - 12 GHz 带宽内离散扫频。2 种情形下,近场反射系数随频率的变化分别见图 1 - 2。

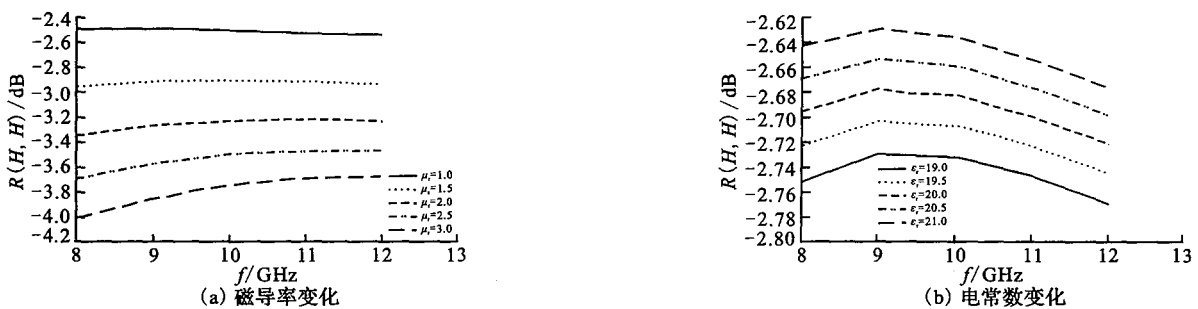


图 1 H 水平极化反射系数随频率的变化

Fig. 1 Reflection coefficient variation with frequency for H TE - polarized wave

由图 1 知:在 8 - 12 GHz 频带内,H 极化下,磁导率增大,反射系数减小;介电常数的增大,反射系数增大。由图 2(a - b)知:在 8 - 12 GHz 频带内,V 极化下,磁导率增大,反射系数减小;介电常数增大,反射系数加大。2 种情形下(8 GHz,  $\Phi = 0$ )的雷达散射截面见图 3 - 4。在  $-60^\circ - 60^\circ$  角度内,H 极化下,磁导率增大,远场的 RCS(TE, TE)也增大;介电常数增大,远场 RCS(TE, TE)减小。V 极化下,磁导率增大,远场 RCS(TM, TM)也增大;介电常数增大,远场 RCS(TM, TM)减小。远场与近场随介质参数变异的电磁变化特性恰好相反,原因有待进一步研究。

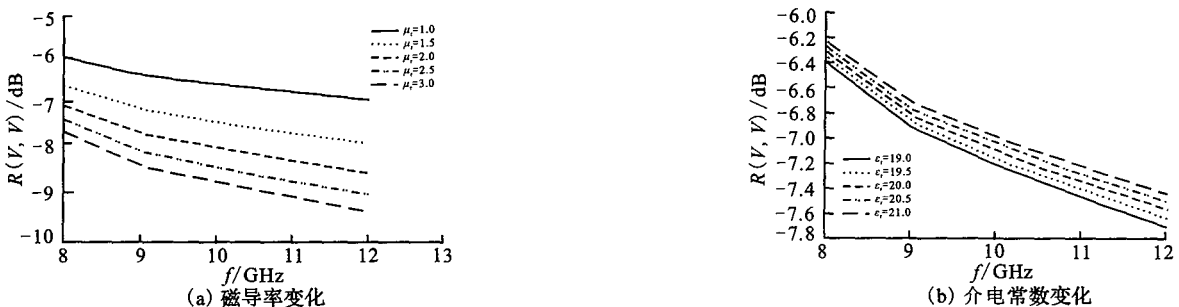


图 2 V 垂直极化反射系数随频率的变化

Fig. 2 reflection coefficient variation with frequency for V TM - polarized wave

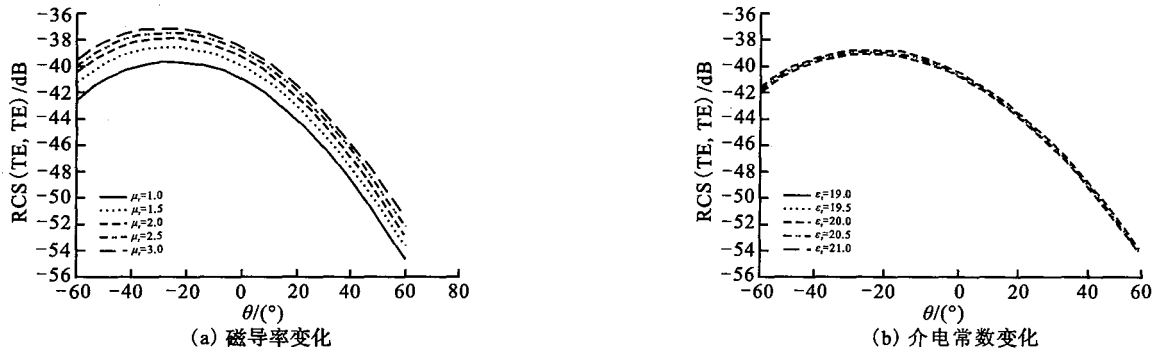


图3 H水平极化 RCS 随频率的变化

Fig. 3 RCS variation with frequency for H TE - polarized wave

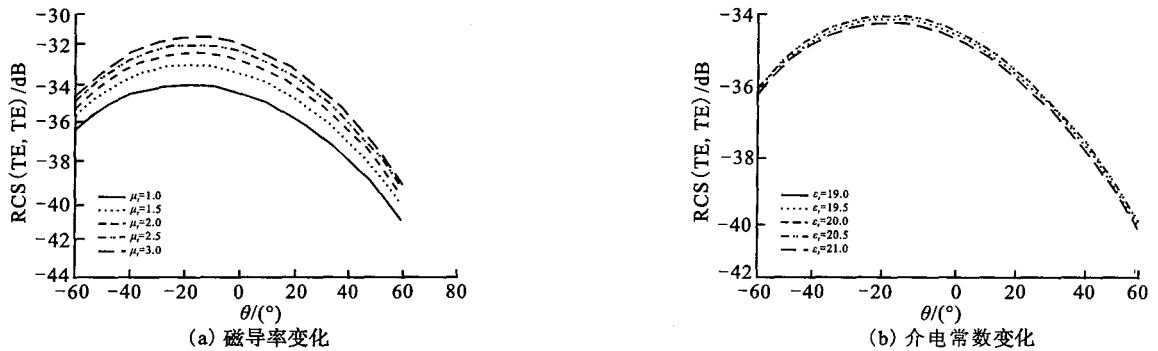


图4 V垂直极化 RCS 随频率的变化

Fig. 4 RCS variation with frequency for V TM - polarized wave

## 5 结束语

磁导率随时间的延长而逐渐下降,电介质常数则增大,一部分是由于材料内部结构随时间变化而引起,这种变化是不可逆转的,称为老化。因此,隐身材料的使用将给维修带来新课题。由计算得知,在8-12 GHz频带内,涂覆烧结铁氧体材料电参数的变异会导致隐身电磁性能明显变化。由模拟电介质老化对飞行器的隐身性能的影响,可知飞机表面维护的重要性;要实现和保持良好的飞行器隐身性能,与微小裂纹的出现相比,更应该注重涂覆材料电性能参数的老化对隐身的损害,而常规飞行器表面不可避免地存在大量类似的电磁缺陷,因此,要实现和保持良好的飞行器隐身性能,必须对此事实予以足够的重视。

### 参考文献:

- [1] 桑建华,周海. 飞行器表面电磁缺陷及雷达吸波材料应用[J]. 航空材料学报,2003,23(2):51-55.  
SANG Jianhua,ZHOU Hai. The Electron Magnetic Discontinuities of the Aircraft Surface and An Application of the Radar Absorbing Material[J]. Journal of Aeronautical Materials,2003,23(2):51-55. (in Chinese)
- [2] 杨河林,温定娥,王海婴. 导体平板上铆钉的电磁散射分析[J]. 微波学报,2005,21(5):14-17.  
YANG Helin,WEN Ding'e,WANG Haiying. Analysis of EM Scattering from Rivets on Conducting Plate[J]. Journal of Microwaves,2005,21(5):14-17. (in Chinese)
- [3] Steven A, Cummer, BogdanIoan Popa, et al. Full-wave Simulations of Electromagnetic Cloaking Structures[J]. Physical Review,2006,E74:036621.
- [4] Sevgi L. A New Electromagnetic Engineering Program and Teaching via Virtual Tools[J]. Progress in Electromagnetics Research B,2008,6:205-224.
- [5] Mallahzadeh A R, Soleimani M. RCS Computation of Airplane Using Parabolic Equation[J]. Progress in Electromagnetics Research,2006,PIER57:265-276.
- [6] Xu Z X, Lin W G. Controllable Absorbing Structure of Metamaterial at Microwave[J]. Progress in Electromagnetics Research,2007,PIER 69:117-125.
- [7] Landy N I, Sajuyigbe S, Mock J J, et al. Perfect Metamaterial Absorber[J]. Physical Review Letters,2008, PRL100:207402.

- [ 8 ] Zhanxian Xu, Lidu Kong, Weigan Lin. et al. Microwave Characteristic Simulation Research for A Kind of Novel Electromagnetic Structure[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2008, 19(1): 52 - 57.
- [ 9 ] 何景彦, 吴广宁, 高波, 等, 采用介质损耗表征聚酰亚胺薄膜老化特征的研究[J]. 绝缘材料, 2007, 40(1): 69 - 74.  
HE Jingyan, WU Guangning, GAO Bo, et al. Study on Aging of Polyimide Film Based on Dielectric Loss[J]. Insulating Materials, 2007, 40(1): 69 - 74. (in Chinese)
- [ 10 ] 方丙炎, 韩思厚, 王俭秋, 等. 老化时间对涂层性能的影响[J]. 航空材料学报, 2003, 23(3): 33 - 37.  
FANG Bingyan, HAN Sihou, WANG Jianqiu, et al. Effect of Aging time on the Performance of Coating[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2003, 23(3): 33 - 37. (in Chinese)

(编辑:田新华)

## Electromagnetic Performance of Coating Ferrite Medium Parameter Variation on A Conductor Disc

XU Zhan - xian, KONG Li - du

(First Aviation Institute of Air Force, Xinyang 464000, Henan, China)

**Abstract:** This paper discusses the problem that the cracks the coating of aircraft result in the variation of the medium performance index and thus affect the stealthy performance of aircraft. By using Ansoft Designer based on MOM and resolution methods, the calculation and analysis of radar X - band frequency wave high frequency electromagnetic characteristics are done when the medium parameter variation caused by cracks appear on the coating sinter ferrite stealthy layer of a perfect conductor disc base. By using V polarization wave incidence and H polarization wave incidence in calculation and analyses, the result shows that the infection is obvious on the stealthy electromagnetic performance because of the coating sinter Ferrite medium performance variation caused by cracks in 8 - 12 GHz.

**Key words:** stealth; medium performance variation; electromagnetic characteristic; ferrite

(上接第34页)

- [ 11 ] Lee C C. Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller [C]//IEEE Transactions on SMC. NY: IEEE Press, 1990: 404 - 434.
- [ 12 ] 杨晓英, 崔得东. 红外成像导引头角跟踪系统仿真分析[J]. 红外与激光工程, 2007, 36(1): 49 - 51.  
YANG Xiaoying, CUI Dedong. Simulation Analysis of the Angle Tracking System for Infrared Imaging Seeker [J]. Infrared and Laser Engineering, 2007, 36(1): 49 - 51. (in Chinese)

(编辑:田新华)

## Research on Beamed Scan Technology for A Missile Seeker

WU Wen - chao<sup>1</sup>, HUANG Chang - qiang<sup>1</sup>, WANG Zhi - jun<sup>2</sup>, SONG Lei<sup>1</sup>, LI Wang - xi<sup>1</sup>

(1. Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi' an 710038, China; 2. Unit 95703, Luliang 655600, Yunan, China)

**Abstract:** A beamed scan technology is proposed for small IFOV of a missile seeker. Three typical scan graphics of S figure, Z figure and line - by - line helix scan are researched in a contrast way. Based on the synthetic analysis of scan period and detection probability, line - by - line helix scan is chosen as the beamed scan mode. A mathematical model of angle - scheduled loop is established and a dual - module fuzzy PID controller is designed. The angle - scheduled loop is simulated to effectively control the seeker. A mathematic model of dual - model controller of Fuzzy - PID is established. Finally, when target - indicating angle is at 1°, system simulation is conducted with step input. The results show that the dual - module fuzzy PID controller has the advantage of small over shoot, high static accuracy and short response time, which meet the requirements of the system and realize beamed scan control.

**Key words:** beamed scan; seeker; fuzzy PID; IFOV