

# Preparation of Microwave Absorbing Coatings and Its Compatibility with Infrared Camouflage Coatings

Li-hai Cai<sup>1</sup>, Zhong-yao Huang<sup>1</sup>, Wen-yan Liu<sup>2</sup>, Wu-long Zhang<sup>3</sup>, Hong-shu Chen<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Oil Research of General Logistics Department, Beijing, China

<sup>2</sup>China University of Mining and Technology, Beijing, China

<sup>3</sup>The Architectural Engineering Research of General Logistics Department, China

Email: lihai96@163.com

**Abstract:** A triple-layer microwave absorbing coatings has been developed, which composed of carbonyl iron particles microwave absorbing layer, phenolic aldehyde hollow microsphere intermediate layer and carbonyl iron particles microwave absorbing layer. The microwave absorbing coating was further coated with an infrared and visible light camouflage coatings. The results show that when the thickness of coating was about 2.6mm, the reflectivity was lower than -8dB within the frequency of 3-18 GHz. The absorbing properties were hardly changed when further coated with the infrared camouflage coatings, and the infrared and visible light camouflage properties kept in effect.

**Keywords:** microwave absorbing coatings; camouflage coatings; compatibility; triple-layer structure

## 宽频微波吸收涂层的制备及其与红外隐身涂层的兼容性研究

蔡利海<sup>1</sup>, 黄忠耀<sup>1</sup>, 刘文言<sup>2</sup>, 张五龙<sup>3</sup>, 陈宏书<sup>3</sup>

<sup>1</sup>总后油料研究所, 北京, 中国, 102300

<sup>2</sup>中国矿业大学, 北京, 中国, 100083

<sup>3</sup>总后建筑工程研究所, 西安, 中国, 710032

Email: lihai96@163.com

**摘要:** 研制了一种微波、红外复合隐身涂层。微波吸收涂层由两层羰基铁粉吸收层和一层酚醛空心微球中间层组成, 红外隐身涂层由不同红外吸收率的三色迷彩斑块组成。研究了微波吸收涂层的吸波性能, 以及对红外隐身涂层的影响。结果表明, 厚度为 2.6mm 的吸波涂层在 3~18GHz 的范围内, 平板反射率均小于 -8dB; 在该频率范围内, 红外隐身涂层与微波吸收涂层之间, 性能基本无相互影响。

**关键词:** 吸波涂层; 伪装涂料; 兼容性; 三层结构

### 1 引言

微波是指频率在 1GHz~300GHz 的高频电磁波, 研究厘米波段 (2~18GHz) 的微波吸收材料是目前的一个热点<sup>[1-3]</sup>。涂层吸波材料施工简单、对目标的外形适应性强, 较多地应用各种机动目标, 高机动性的要求必然对涂层的厚度及重量要求苛刻, 导致展宽频带、提高吸收率的困难<sup>[4-5]</sup>。

目前的微波吸收涂层主要是针对 8~18GHz 频率而设计, 通常在其表面再喷涂一层可见光、热红外涂料提高其综合性能<sup>[6]</sup>。本文较少考虑涂层的厚度和重量因素, 研究一种工作频段在 2.6~18GHz 的宽频微

波吸收涂层, 并在其表层喷涂可见光、热红外隐身涂料, 探讨涂层的微波吸收特性及其与红外隐身涂层的兼容性。

### 2 实验方法

#### 2.1 微波吸收涂层

通过吸收剂电磁参数的控制、涂层结构的优化设计<sup>[7,8]</sup>, 吸波涂层设计为三层结构, 从底层到表层依次分别为吸收层、匹配层、吸收层。吸收层选用磁损耗型吸收剂, 由球状和片状羰基铁粉复合而成; 匹配层选用酚醛空心微球, 以降低介电常数, 增强匹配效果。

树脂基体选用室温固化双组份氯磺化聚乙烯体系。

在 180mm×180mm×3mm 的铝板上,采用喷涂工艺制备涂层。三层涂层的功能添加剂重量百分数分别为 75.6%、15.2%和 75.6%,涂层总厚度为 2.6mm。涂层固化后,按照《GJB 2038-1994 雷达吸波材料反射率测试方法》采用微波暗室法测量微波反射率,采用方形波导法测量复合羰基铁粉吸收剂的电磁参数。

### 2.2 可见光、红外隐身涂层

可见光、红外隐身涂层(总后建筑工程研究所提供)中降低发射率的功能填料为包膜铝粉。分别在铝板和微波吸收涂层上,喷涂土黄、中绿和深绿色三色迷彩可见光、红外隐身涂料,涂层厚度 40 μm。分别测量喷涂前后的微波反射率。采用 HWFD1 型红外发射率测量仪(昆明物理研究所)测量涂层的红外发射率,采用 Lambda950 紫外可见分光光度计(PerkinElmer)测量涂层的可见光-近红外光谱反射曲线。

## 3 结果与讨论

### 3.1 复合吸收剂特性

图 1 为复合吸收剂的电镜照片。球形羰基铁粉的直径约在 1~5μm 之间;片状羰基铁粉的薄片径长约 3~6μm,薄片厚度约几百个纳米。由于吸收剂的厚度与 Fe 在微波频段的趋肤深度处于同一数量级<sup>[9]</sup>,能够增加涡流损耗,提高微波吸收性能。

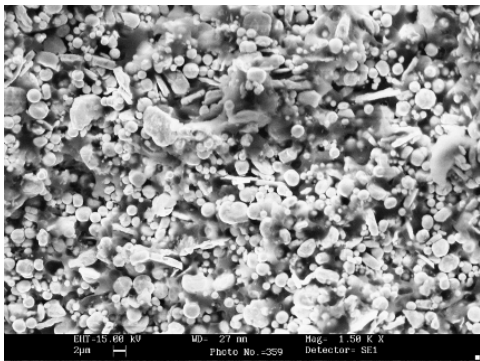


Figure 1. Morphology of the absorbents by SEM  
图 1. 吸收剂 SEM 图片

图 2 为吸收剂电磁参数与频率的变化关系图。可以看出,在 2~18GHz 的频率范围内,吸收剂的相对介电常数实部约为 30;但介电常数虚部的数值较小,2GHz 时出现最大值 1.53,随着频率的增加逐渐降低。

磁导率实部在 2GHz 时出现最大值 5.5,随着频率的增加逐渐降低;磁导率虚部在 5GHz 附近出现最大值,由于磁导率虚部最大值所对应的频率即为共振峰的位置<sup>[10]</sup>,所以该吸收剂应该在 C 波段(4~8GHz)具有较好的微波吸收性能。

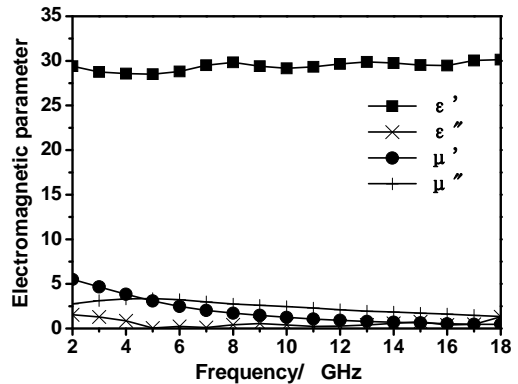


Figure 2. Curve: electromagnetic parameters of absorbents  
图 2. 吸收剂电磁参数曲线

### 3.2 微波吸收性能

微波吸收涂层的基本性能如表 1 所示。总厚度 2.6mm,面密度 6.7kg/m<sup>2</sup>的吸波涂层,在 3~18GHz 的范围内,反射率均小于-8dB,小于-10dB 的合格带宽达到 10GHz,小于-20dB 的合格带宽达到 2.2GHz。可见,通过吸波剂电磁参数的控制、涂层结构的优化设计,实现了涂层的宽带大吸收。

Table 1. Properties of microwave absorbing coating  
表 1. 微波吸收涂层基本性能

涂层厚度 (mm)	面密度 (kg/m <sup>2</sup> )	频段 (GHz)	反射率 (dB)
2.6	6.7	2.6~4GHz	<-3.5
		4~8GHz	<-8
		8~18GHz	<-10

### 3.3 与红外隐身涂料的兼容性

图 3 为喷涂红外隐身涂料前后样品的微波反射率。可以看出,在微波吸收涂层表面涂覆一层铝粉基红外隐身涂料,其吸波性能没有明显下降。当颜色为土黄和中绿时,在 2.6~18GHz 频段内吸波性能变化不大,喷涂前后各频率的反射率差值均不超过 2dB;当颜色为深绿色时,在 2.6~10GHz 频段内吸波性能变化不大,在 10GHz 频率以后反射率曲线略向右移,

导致在 15~18GHz 范围内吸波性能有所提高。

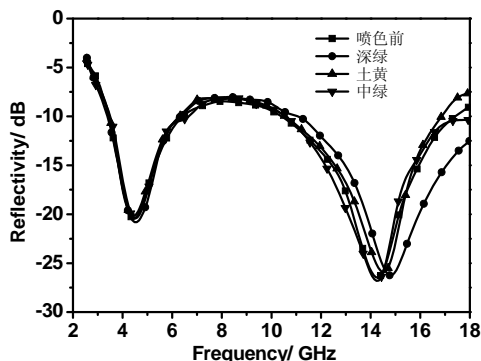


Figure 3. Reflectivity of microwave absorbing coating before and after being coated with Infrared camouflage coating  
图 3. 吸波涂层表面喷涂红外隐身涂料前后的反射率

### 3.4 可见光-近红外性能

图 4 为微波吸收涂层表面分别喷涂三种颜色红外隐身涂料后的可见光-近红外光谱反射曲线。由图可见，该涂层在可见光和近红外波段都能够实现很好的迷彩分割，说明微波吸收涂层对表层红外隐身涂料的可见光-近红外伪装性能没有明显影响。

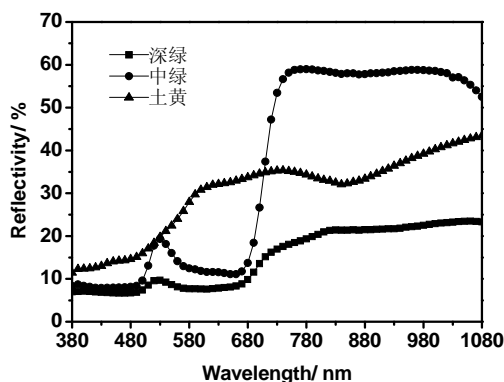


Figure 4. Reflectivity of microwave absorbing coating after being coated with Infrared camouflage coating  
图 4. 三种颜色的红外-微波复合隐身涂层光谱反射曲线

### 3.5 热红外性能

微波吸收涂层表面分别喷涂三种颜色红外隐身涂料后，在 8~14  $\mu\text{m}$  的热红外发射率分别为  $\epsilon_1=0.55$ ,  $\epsilon_2=0.71$ ,  $\epsilon_3=0.88$ ，任意两种颜色的发射率差值不小

于 0.1，三种颜色能够形成明显的热迷彩分割，说明微波吸收涂层对表层红外隐身涂料的热红外伪装性能没有明显影响。

## 4 结论

- 制备的三层复合微波吸收涂层，由羰基铁粉吸波层、酚醛空心微球中间层、羰基铁粉吸波层组成，总厚度为 2.6 mm，面密度为 6.5 kg / m<sup>2</sup>，在 3~18GHz 的范围内，反射率均小于 -8dB，小于 -10dB 的合格带宽达到 10GHz，小于 -20dB 的合格带宽达到 2.2GHz。
- 微波吸收涂层与 40  $\mu\text{m}$  厚的铝粉基可见光、红外隐身涂层复合后，其吸波性能基本保持不变，且微波吸收涂层对红外隐身涂层的光学、红外隐身性能基本无影响。

## 5 致谢

感谢张扬伟工程师、陈少峰工程师提供的帮助。

## References (参考文献)

- [1] Longjiang Deng et al. [J]. Functional Materials Information, 2005(4): 8-10(Ch).  
邓龙江等. 磁性电磁吸波材料的研究现状与进展[J]. 功能材料信息, 2005(4): 8-10.
- [2] Hongli Zhu et al. [J]. Engineering Plastics Application, 2006(2): 14-16(Ch).  
朱洪立等. 宽频雷达吸波材料研究[J]. 工程塑料应用, 2006(2): 14-16.
- [3] K J Vinoy, R M Jha. [M]. Radar absorbing materials - From theory to design and characterization, Boston, MA: Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [4] Xiaoling Yu et al. [J]. Materials & Design, 2006, 27(8): 700-705.
- [5] Jung-Hoon Oh et al. [J]. Composites Part B: Engineering, 2004, 35(1): 49-56.
- [6] Defu Pi et al. [J]. Semiconductor Technology, 1996(3): 51-53(Ch).  
皮德富等. 宽波段红外隐形材料研究[J]. 半导体技术, 1996(3): 51-53.
- [7] Paul Saville. [R]. A Review of Optimisation Techniques for Radar Absorbing Materials: Including the Genetic Algorithm, ADA436821.
- [8] Cloete H. [J]. International Journal of Applied Electromagnetic and Mechanics, 1998, 38(2): 103-114.
- [9] Lianwen Deng et al. [J]. Acta Metallurgica Sinica, 2006, (42): 321-324(Ch).  
邓联文等. 纳米晶 Fe<sub>8</sub>Si<sub>1</sub>Al<sub>6</sub>Cr<sub>8</sub> 扁平状颗粒材料微波吸收特性, 2006, (42): 321-324.
- [10] Defu Wan et al. [M]. Magnetic Physics, Cheng Du: The University of Electronic Science and Technology Press, 1994: 405(Ch).  
宛德福等. 磁性物理学[M]. 成都: 电子科技大学出版社, 1999: 405.