

文章编号: 1001 - 9014(2008)03 - 0202 - 05

# 层状无机物和石墨复合涂层的吸波特性研究

侯进, 陈国华

(中国海洋大学 化学化工学院, 山东 青岛 266100)

**摘要:**首次采用层状无机物作为吸波剂与石墨吸波剂复合, 制备出了双层复合吸波涂层. 层状无机物的复磁导率的实部  $\mu_1$ , 虚部  $\mu_0$ , 说明它是一种介电损耗型吸收材料, 通过介电损耗来吸收和衰减电磁波. 并探讨了底层层状无机物和表层石墨用量对吸波性能的影响, 实验结果表明: 增加表层或底层吸波剂含量, 均能使吸波性能曲线向低频端方向移动, 反之, 吸波性能曲线向高频端方向移动. 当底层层状无机物和表层石墨的质量分数分别为 11.0% 和 16.6% 时, 制得了最大反射损耗为 -22.27dB 的双层复合涂层, 其中小于 -5dB 和 -10dB 的频宽分别为 5.36GHz 和 3.12GHz.

**关键词:**吸波特性; 层状无机物; 弓形测试法; 石墨  
**中图分类号:** TM25 **文献标识码:** A

## RESEARCH ON MICROWAVE ABSORBING PROPERTIES OF COMPOSITE COATINGS MADE BY LAYERED INORGANICS AND GRAPHITE

HOU Jin, CHEN Guo-Hua

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China)

**Abstract:** Double-layer composite absorbing coatings were made by using layered inorganics as an absorbing reagent combined with graphite. Layered inorganics belongs to a dielectric loss absorbing material since its complex permeability's real part  $\mu_1$  and imaginary part  $\mu_0$ , and it absorbs and attenuates electromagnetic wave via dielectric loss. The influences of dosages of layered inorganics in the bottom layer and graphite in the surface layer on microwave absorbing properties were studied. The results show that the absorption peak values shift to lower frequency by increasing dosages of absorbing reagents, otherwise shift to higher frequency. When the double-layer composite absorbing coating is prepared with amount of 11.0 wt % layered inorganics and 16.6 wt % graphite, the maximum reflection loss reaches -22.27dB and the absorption bandwidths are 5.36GHz (under -5dB) and 3.12GHz (under -10dB).

**Key words:** microwave absorbing properties; layered inorganics; arch testing method; graphite

## 引言

世界军事发达国家在雷达吸波材料的研究方面已取得长足的进展, 研制出多种不同结构的雷达隐身材料, 应用前景较好. 我国在雷达吸波材料<sup>[1]</sup>的研究也取得了一定的成效, 但仍处于起步阶段. 继续加大这方面的研究和投入, 对我国国防事业的发展有着重大而深远的意义.

对吸波材料的综合要求可以简称为“薄、宽、轻、强”4个字<sup>[2-4]</sup>. 要使吸波材料具有较宽的吸波频带, 特别是研制 2~18GHz 超宽频带吸波涂层, 采

用新材料以及多层复合结构是提高吸波效果和拓宽吸收频带的重要途径<sup>[5,6]</sup>, 多层材料可以通过控制吸波剂含量和涂层厚度改变阻抗特性以获得最小的表面反射, 目前研究较多的是双层和 3 层吸波涂层<sup>[7,8]</sup>. 关于层状无机物在吸波涂层中的应用还未见报道, 研究发现不具备吸波性能的层状无机物与石墨复配后能够提高涂层的吸波特性.

## 1 实验方法

### 1.1 原材料

环氧树脂, 低分子量聚酰胺, 吸波剂为层状无机

收稿日期: 2007 - 12 - 18, 修回日期: 2008 - 04 - 08

Received date: 2007 - 12 - 18, revised date: 2008 - 04 - 08

基金项目: 国家重点基础研究发展规划 973 计划基金资助项目 (2003CB615706)

作者简介: 侯进 (1976-), 男, 山东菏泽人, 中国海洋大学, 博士, 主要从事资源利用与环境保护方面研究.

物和石墨.

### 1.2 试样制备

将环氧树脂和低分子量聚酰胺按一定比例混合均匀,加入一定配比的吸波剂(层状无机物和石墨作为吸波剂分别添加到底层和表层中),搅拌均匀后,把混合物涂覆于 180mm ×180mm ×5mm 的标准铝板上,制成吸波涂层.

### 1.3 性能测试

电磁参数的测定采用传输/反射法:将吸波剂和环氧树脂按一定质量比混合后浇注加工成内外径分别为 3.04mm和 7.00mm 的环形试样,所用仪器是 E8368A 矢量网络分析仪,测试频率在 2~18GHz 之间.测试单位:南京大学.

吸波性能的测定按照国家标准雷达吸波材料(RAM)反射率测试方法:GJB2038-94 中的方法 102,即 RAM 反射率弓形测试法.利用测量系统 HP8757E 标量网络分析仪检测吸波性能,扫频范围在 2~18GHz 之间.测试单位:北京航空材料研究院.

## 2 结果与讨论

### 2.1 层状无机物的电磁参数

层状无机物的电磁参数如图 1 所示.

由图 1 得出,层状无机物具有一定的介电损耗角正切值,  $tg \delta_e$  介于 0.04~0.17 之间,随着频率的增

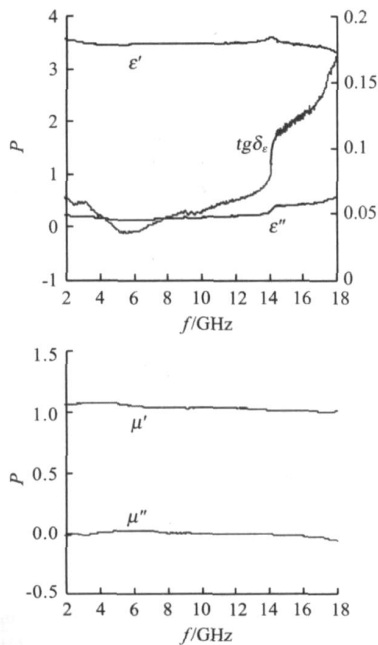


图 1 层状无机物的复介电常数和复磁导率曲线  
Fig 1 The complex permittivity and permeability of layered inorganic

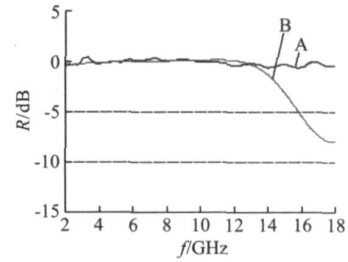


图 2 层状无机物(A)和石墨(B)自身吸波性能曲线  
Fig. 2 Reflectivity curves of layered inorganic(A) and graphite(B)

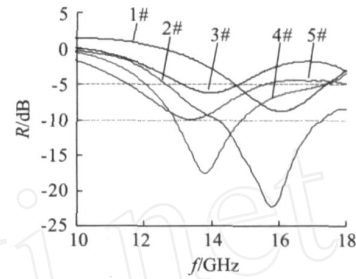


图 3 层状无机物用量不同时试样的吸波性能曲线  
Fig. 3 Reflectivity curves with different dosages of layered inorganics

加而明显上升.复磁导率的实部  $\mu'$ ,虚部  $\mu''$ ,说明它是一种介电损耗型吸收材料,通过介电损耗来吸收和衰减电磁波.

### 2.2 单一吸波剂的吸波性能

层状无机物(A)和石墨(B)自身吸波性能曲线如图 2 所示.

结果表明:层状无机物对雷达波基本没有吸收,石墨在高频段略有吸收.

### 2.3 吸波剂用量对吸波性能的影响

#### 2.3.1 层状无机物用量对吸波性能的影响

层状无机物在底层的质量分数分别为 8.0%、11.0%、14.0%、17.0%和 19.0%,表层石墨的质量分数保持不变,试样编号为 1#~5#.各试样的吸波性能曲线和吸波性能结果分别如图 3 和表 1 所示.

表 1 各试样的吸波性能结果

Table 1 The results of microwave absorption properties

试样	PH kd < -5dB 的 频宽 /GHz	< -10dB 的 频宽 /GHz	最大反射 损耗 /dB	对应的 频率 /GHz
1#	2.72	/	-8.79	16.04
2#	5.36	3.12	-22.27	15.76
3#	1.68	/	-6.25	13.96
4#	5.36	1.98	-17.52	13.80
5#	6.64	/	-9.92	13.40

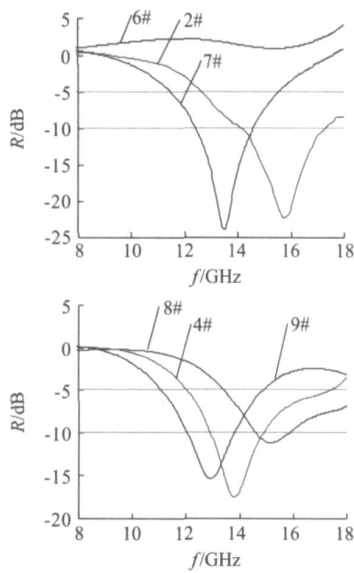


图4 石墨用量不同时试样的吸波性能曲线

Fig 4 Reflectivity curves with different dosages of graphite

表2 各试样的吸波性能结果

Table 2 The results of microwave absorption properties

试样	PHkl < -5dB的 频宽 /GHz	< -10dB的 频宽 /GHz	最大反射 损耗 /dB	对应的 频率 /GHz
6#	/	/	/	/
7#	4.04	2.12	-23.88	13.48
8#	4.60	1.24	-11.19	15.16
9#	3.80	1.76	-15.36	12.92

结果表明:随着层状无机物含量的增加,吸波性能曲线向低频端方向移动;试样的反射损耗及频宽均出现了两个最大值,即试样 2#和 4#,其最大反射损耗分别为 -22.27dB 和 -17.52dB,对应的频宽 (< -10dB)分别为 3.12GHz和 1.98GHz

### 2.3.2 石墨用量对吸波性能的影响

以试样 2#为基础,保持底层层状无机物的质量分数不变,将其表层石墨的质量分数由 16.6%改为 14.0%和 19.0%,分别得到试样 6#和 7#;同样以试样 4#为基础,将其表层石墨的质量分数由 16.6%改为 14.0%和 19.0%,分别得到试样 8#和 9#.各试样的吸波性能曲线和吸波性能结果分别如图 4和表 2所示。

结果表明,随着表层石墨含量的增加,吸波性能曲线均向低频端方向有明显移动。对于前者,试样 7#的最大反射损耗较试样 2#略有增加,但频宽明显变窄。对于后者,增加或减少表层石墨含量,试样的频宽和反射损耗均减小。因此,改变试样 2#和 4#的

表层石墨含量,试样的吸波效果均没有得到改善。

## 3 结论

(1) 发现了层状无机物新型吸波材料,不具备吸波性能的层状无机物与石墨进行复配可提高涂层的吸波性能,层状无机物的复磁导率的实部  $\mu'$ , 虚部  $\mu''=0$ ,说明它是一种介电损耗型吸收材料,通过介电损耗来吸收和衰减电磁波。

(2) 增加表层或底层吸波剂含量,均能使吸波性能曲线向低频端方向移动,反之,吸波性能曲线向高频端方向移动。当底层层状无机物和表层石墨的质量分数分别为 11.0%和 16.6%时,制得了 -5dB 和 -10dB 以下的频宽分别为 5.36GHz和 3.12GHz,最大反射损耗为 -22.27dB 的双层复合涂层。

## REFERENCES

- [1] GAO Qiang, YN Yan, YAN Dun-Bao, *et al* Radar absorbing materials based on PBG [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (高强, 银燕, 闫敦豹, 等. 基于光子晶体的电磁吸收材料. *红外与毫米波学报*), 2006, 25 (6): 143—146
- [2] SHEN Guo-Zhu, XU Zheng, CAI Rui-Qi Radar absorbing properties of composites filled with short carbon fiber-ferrite [J]. *J. of Tongji University (Natural Science)* (沈国柱, 徐政, 蔡瑞琦. 短切碳纤维-铁氧体填充的复合材料吸波性能. *同济大学学报 (自然科学版)*), 2006, 34 (7): 933—936
- [3] LU Shun-Hua, GUAN Hong-Tao, DUAN Yu-Ping, *et al* Electromagnetic absorbing characteristics of manganese dioxide composites [J]. *J. of Functional Materials* (刘顺华, 管洪涛, 段玉平, 等. 二氧化锰复合材料吸波特性研究. *功能材料*), 2006, 2 (37): 197—199
- [4] HE Yan-Fei, GONG Rong-Zhou, HE Hua-Hui Research on absorbing properties of double-layer absorbing materials [J]. *J. of Functional Materials* (何燕飞, 龚荣洲, 何华辉. 双层吸波材料吸波特性研究. *功能材料*), 2004, 6 (35): 782—784
- [5] Cheng-Hsiung Peng, Chyi-Ching Hwang, Jun Wan, *et al* Microwave-absorbing characteristics for the composites of the mal-plastic polyurethane (TPU)-bonded NiZn-ferrites prepared by combustion synthesis method [J]. *Materials Science and Engineering B*, 2005, 117 (1): 27—36
- [6] Phang SW, Rusli Daik, Abdullah M H. Poly (4, 4'-diphenylene diphenylvinylene) as a non-magnetic microwave absorbing conjugated polymer [J]. *Thin Solid Films*, 2005, 477 (1): 125—130
- [7] Meshrama M R, Agrawala N K, Bharoti Sinha Characterization of M-type barium hexagonal ferrite-based wide band microwave absorber [J]. *J. of Magnetism and Magnetic Materials*, 2004, 271 (2): 207—214
- [8] Pinho M S, Gregori M L, Nunes R C. Performance of radar absorbing materials by waveguide measurements for X- and Ku-band frequencies [J]. *European Polymer Journal*, 2002, 38 (11): 2321—2327