

·光电器件与材料·

炭黑对无机开孔泡沫吸波材料反射率的影响

刘国权, 马栋良, 杨大峰, 魏亚星

(总参工程兵科研三所, 河南 洛阳 471023)

摘要: 炭黑是在无机开孔泡沫吸波材料制备中一种重要的氧化型发泡剂, 同时也是样品制备过程中添加的优良吸波剂, 在实验室中制备了炭黑体积含量为0.1%、0.5%、1.5%、2%和3%的泡沫样品, 测量了五种样品的介电常数, 理论计算了样品在X波段的反射率, 并通过试验测量, 得出了制备无机开孔泡沫吸波材料时, 炭黑含量为3%时性能最好的结论, 为材料制备提供了参考依据。

关键词: 炭黑; 介电常数; 无机泡沫; 吸波材料

中图分类号: O434.14

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2014)-04-0017-04

Influence on Reflectivity of Inorganic Open-cell Foam Wave-absorbing Material from Charcoal

LIU Guo-quan, MA Dong-liang, YANG Da-feng, WEI Ya-xing

(Third Engineering Scientific Research Institute of the Headquarters of General Staff, Luoyang 471023, China)

Abstract: Charcoal is an important oxidation foaming agent in the preparation of inorganic open-cell foam wave-absorbing material. And it is a good wave-absorbing agent added to sample preparation process. The foam samples with different charcoal volume content such as 0.1%, 0.5%, 1.5%, 2% and 3% are prepared at laboratory. The dielectric constant of the five samples is measured and the reflectivity of the samples at X wave band is calculated on theory. Through test measurement, the conclusion is obtained that the best character is got when charcoal content is 3% during the preparation of inorganic open-cell foam wave-absorbing material, which provide reference for material preparation.

Key words: charcoal; dielectric constant; inorganic foam; wave-absorbing material

无机开孔泡沫型吸波材料是利用碎玻璃或火山灰等为主要原料, 在其中添加电磁损耗物质, 熔融发泡得到的一种材料, 具有吸波性能好、多频谱兼容、耐久性好以及耐恶劣环境, 使用寿命长、造价低的特点, 在工程应用中具有独特的优势。

炭黑是以液体或气体碳氢化合物为原料, 在缺氧条件下经不完全燃烧分解制得的^[1]。炭黑的主要成分是碳, 只有少量的氮和氧, 具有“准石墨”晶体结构和胶体粒径范围的黑色粒状物质, 其结构类似于石墨, 典型的炭黑是由直径10~100 nm, 表面积

25~1 500 m²/g球形原生颗粒构成的^[2]。炭黑在无机开孔泡沫吸波材料制备中, 除了具有起发泡剂作用, 还具有稳定剂作用^[3-4], 增加孔隙率, 同时在样品的孔隙中渗透炭黑增加其吸波性能。炭黑的含量对无机开孔泡沫吸波材料的性能有较大的影响, 制备了不同炭黑含量的无机开孔泡沫吸波材料样品, 测试了其介电常数, 通过理论计算, 得到了样品在X波段(8~12 GHz)的反射率, 对计算性能较好的样品进行了实验验证, 为材料的工程应用提供了参考。

收稿日期: 2014-05-21

作者简介: 刘国权(1973-)男, 硕士, 高级工程师, 主要从事吸波材料研究。

1 实验样品的制备

无机开孔泡沫型吸波材料实验样品制备分为三步:(1)炭黑作为氧化型吸波剂高温烧结发泡得到无机开孔泡沫型吸波材料初样;(2)炭黑作为添加的吸波剂,配置能浸渍初样的含炭溶液;(3)将溶液完全浸渍到初样中并烘干^[1]。试验分别制备了炭黑体积含量为0.1%、0.5%、1.5%、2%和3%的样品,制备的标准试样如图1所示。

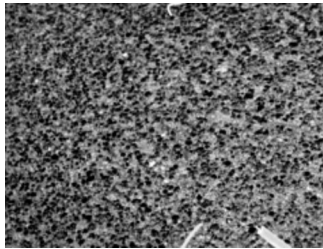


图1 无机开孔泡沫吸波材料标准试样

2 电磁参数的测量

材料电磁参数测量主要用矩形波导和同轴传输线^[5-6]。在小损耗时,有许多比较成熟的方法如微扰法。但该方法对于大损耗的吸收材料的测量无能为力。对损耗在0.1以上的中、大损耗材料,常用的方法有:驻波法(测量线法)和网络法。

驻波法的优点是不需要复杂的仪器设备,通过测量测量线中在终端短路、“开路”两种状态的驻波变化来获得材料的电磁参数。网络法将介质试样看成是一个对称二端口网络,而介质的电磁参数可以根据等效网络参数计算^[7],如图2所示。文中实验采用网络法,主要测试设备是矢量网络分析仪,测试方法参考GJB 5239-2004《射频吸波材料吸波性能测试方法》。

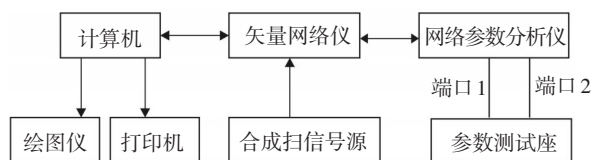


图2 材料电磁参数测量系统示意图

通过测试不同炭黑含量的样品的介电常数的实部和虚部,结果如表1所示。

将表1的数值绘制成如图3和图4所示的曲线。由图3和图4可知,随着炭黑含量的增加,材料

表1 不同炭黑含量的样品介电常数测量值

炭黑百分含量/(%)	介电常数实部	介电常数虚部
0.1	1.18	0.1
0.5	1.22	0.15
1.5	1.4	0.4
2	1.5	0.5
3	4.2	2.25

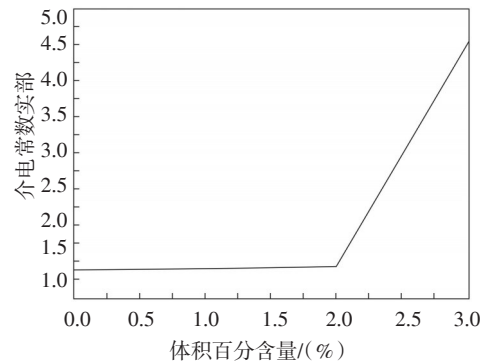


图3 在8.5 GHz频率下不同炭黑含量与介电常数实部的关系

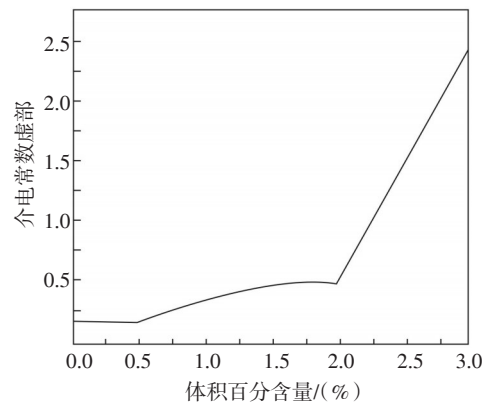


图4 在8.5 GHz频率下不同炭黑含量与介电常数虚部的关系

的介电常数实部和虚部均增大。在炭黑含量低于2%的情况下,介电常数随炭黑的增加而缓慢增加。当炭黑含量高于2%时,无机开孔泡沫材料电磁参数急剧增加。

3 炭黑含量对样品反射率的影响

3.1 样品反射率理论计算

在金属板表面覆盖一薄层均匀的吸波材料,对于垂直入射的电磁波,材料的归一化输入阻抗为^[8]

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh\left(2\pi j \frac{d}{\lambda} \sqrt{\mu_r \epsilon_r}\right) \quad (1)$$

式中, $\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$ 为复数相对磁导率; $\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$ 为复数相对介电常数; λ 为电磁波波长; d 为材料厚度。

材料对电磁波的电压反射系数与阻抗的关系为

$$R_v = \frac{z-1}{z+1} \tag{2}$$

如果材料一定, 使用频率一定, 则 μ_r 、 ϵ_r 和 λ 为定值, 式(1)中的变量只有 d 。不同的 d 对应有不同的 Z , 代入式(2)可求出对应的 R_v 。

根据测得的不同炭黑含量的电磁参数, 如表 1 所示。对于电损耗材料, 磁导率的实部为 1, 虚部为 0, 按 40 mm 厚计算 X 波段(8~12 GHz)的反射率值, 计算时具有金属衬底。结果分别见图 5~图 9 所示。

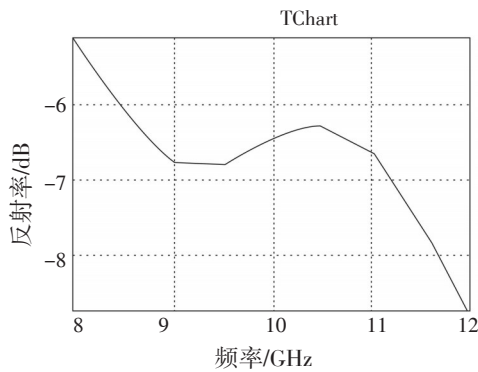


图5 炭黑含量为0.1%时材料反射率的计算值

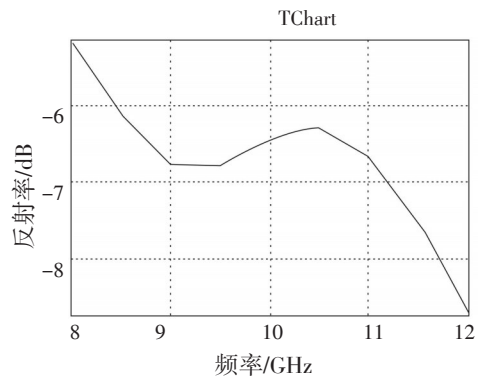


图6 炭黑含量为0.5%时材料反射率计算值

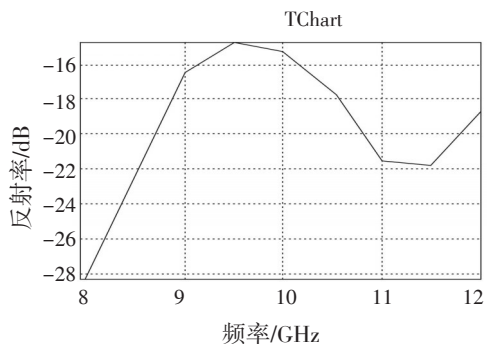


图7 炭黑含量为1.5%时材料反射率计算值

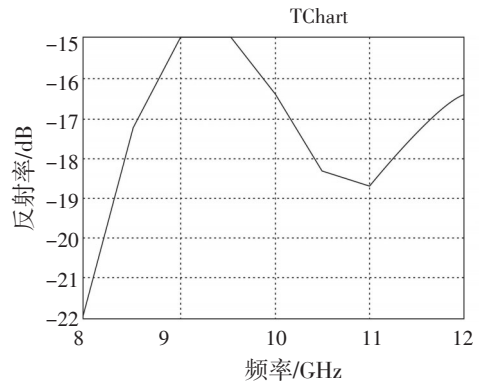


图8 炭黑含量为2%时材料反射率计算值

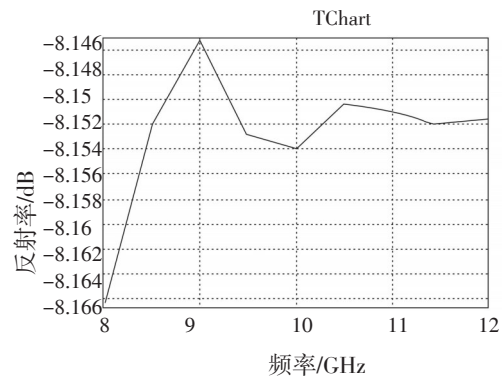


图9 炭黑含量为3%时材料反射率计算值

从上述计算图 5~图 9 对比可以看出, 不同炭黑含量样品的反射率计算值有很大变化, 而多数样品在 X 波段内反射率变化较大, 而 3% 炭黑含量的样品在 X 波段内反射率计算值变化幅度较小。根据计算结果, 进行试验验证。

3.2 样品反射率测量

测量采用 GJB2038-94《雷达吸波材料反射率测量方法》之方法 102“弓型测量法”。系统由 HP83751 信号源及 HP8757E 标量网络分析仪及测试天线组成, 工作方式为扫频测量方式^[9-11]。测试系统方框图如图 10 所示。

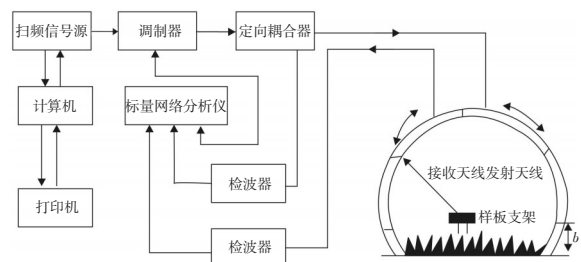


图10 雷达反射率弓型法测试方框图

根据理论计算情况分析,对40 mm厚炭黑含量为3%的无机开孔泡沫材料反射率进行了测试,结果见图11。

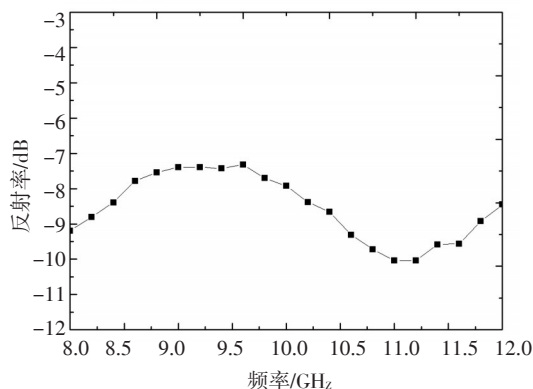


图11 炭黑含量为3%时材料的反射率实测值

从图11的反射率实测值可以看出,炭黑含量在3%时,40 mm厚的无机开孔泡沫材料在X波段反射率为-7~-10 dB,与多数自然背景X波段雷达反射率相近^[5],具有工程伪装实用价值。

4 结 论

(1)炭黑的含量对无机开孔泡沫材料的电磁特性有较大的影响,根据驻波法测试结果,随着炭黑含量的增加,无机泡沫材料介电常数实部和虚部均增大,炭黑含量低于2%时,增加缓慢,炭黑含量高于2%时,增加较快。

(2)通过理论计算,炭黑含量对样品反射率有很大影响,体积含量为0.1%、0.5%、1.5%和2%的样品在X波段内反射率波动较大,特性不稳定,含量3%的样品在X波段内计算值变化幅度较小。根据计算结果,进行试验验证。

(3)采用“弓型测量法”测量了含量3%样品的反射率,在X波段的反射性能比较稳定,满足工程使用要求。

参考文献

- [1] 周敏,杨觉明,周建军.吸波材料研究进展[J].西安工业学院学报,2000,20(4):296-30.
- [2] 季小勇,李惠,欧进萍.不同直径炭黑环氧树脂基复合材料力电性能及其机理[J].复合材料学报,2007,124(4):45-46.
- [3] 李斌鹏,王成国,王雯.碳基吸波材料的研究进展[J].新型建筑材料材料导报(综合版),2012,126(4):24-27.
- [4] 胡书春,黄真浩,金俭.导电炭黑/磁性氧化物复合吸波剂的制备与表征[J].材料导报,2011,26(1B):15-18.
- [5] 赵才军,蒋全兴,景莘慧,等.同轴线测量材料电磁参数的改进NRW传输/反射法[J].测控技术,2009,128(11):80-83.
- [6] 徐记伟,时家明.雷达吸波材料电磁参数的测量方法[J].舰船电子对抗,2007,30(6):46-49.
- [7] 张海丰,催虹云,关慧君,等.网格法在抗电磁辐射材料电磁参数匹配研究中的应用[J].航空材料学报,2011,25(2):74-76.
- [8] 王祖鹏,于名讯,潘士兵.复合材料电磁参数计算的理论研究进展[J].材料导报:纳米与新材料专辑,2009(2):246-249.
- [9] 江岩,吕朋尧.基于矢量网络分析的材料反射率测试方法研究[J].国外电子测量技术,2013(8):19-22.
- [10] 郭寅生,颜锦奎,徐得名,等.雷达吸波材料反射率的现场测量[J].上海大学学报:自然科学版,2012,18(3):251-255.
- [11] 李剑锐.矢量网络分析仪在吸波材料反射率、透射率测试中的应用[J].科技信息,2009(33):78.
- [12] 胡江华.伪装技术[M].北京:国防工业出版社,2012.

本 刊 声 明

《光电技术应用》期刊投稿电子信箱已变更为nloe@vip.163.com,原投稿电子信箱neiet@jzptt.ln.cn已停止使用,请作者按新的电子信箱投稿。凡向期刊投稿的作者,请按照刊登论文的格式要求写稿,详见期刊网站www.gdjsyy.com,本刊拒绝一稿多投,敬请作者自觉遵守。