

宽频雷达吸波材料研究

朱洪立¹ 叶智书² 陈开来¹ 于名讯¹

(1. 中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031; 2. 总装备部装甲兵驻重庆 256 厂军事代表室, 重庆 400039)

摘要 采用常规粉体吸收剂和导电纤维作为复合吸收剂, 掺混于改性聚氯乙烯基体中, 制备出宽频雷达吸波材料。用弓形法测试、研究了这种复合吸波材料在 2 ~18 GHz 范围内的反射率特性。通过合理组合制得的复合吸波材料的总厚度为 2.8 mm 时, 在 6 ~18 GHz 范围内实现反射率小于 -10 dB。

关键词 常规粉体吸收剂 导电纤维 改性聚氯乙烯 雷达吸波材料

隐身技术作为提高武器作战效能的一种有效手段, 与激光、巡航导弹并称为现代军事技术的三大革命^[1]。雷达隐身技术仍是现代战争中最主要的隐身技术。应用雷达吸波材料是解决雷达隐身技术的主要途径之一^[2]。雷达吸波材料的使用及发展对未来战争的胜败具有重要意义。

雷达隐身技术主要是指对工作在 3 MHz ~300 GHz 范围内雷达的隐身技术, 其中厘米波段(2 ~18 GHz)是非常重要的雷达探测波段, 也是现阶段世界各国力求突破的超宽频带雷达隐身技术研究的重点。因此, 笔者对雷达吸波材料在厘米波段的吸波性能进行了探讨, 通过吸收剂的合理调节及结构设计的优化制得宽频雷达吸波材料。

1 吸波材料的吸波原理及结构设计

根据微波吸收理论^[3], 吸波材料的吸收效果以反射率来表示, 反射率越小, 吸波效果越好。对于单层吸波材料, 假定底板金属是理想导体, 根据传输线理论^[4], 空气与吸波材料界面处的输入阻抗及吸波材料的反射率可表示为:

$$Z_i = (\mu / \varepsilon)^{1/2} \tanh[j(2\pi d / \lambda)(\mu \cdot \varepsilon)^{1/2}] \quad (1)$$

$$R = 20 \lg \left| \frac{Z_i - Z_0}{Z_i + Z_0} \right| \quad (2)$$

式中: Z_i ——传输线的特性阻抗;

μ ——吸波材料的复磁导率;

ε ——吸波材料的复介电常数;

d ——吸波材料的厚度;

λ ——自由空间中电磁波的波长;

R ——吸波材料的反射率;

Z_0 ——空气的特性阻抗。

由式(1)、式(2)可知, 吸波材料的吸波效果与材料的复磁导率、复介电常数、厚度和电磁波的波长有关。为满足现阶段对隐身材料“薄、轻、宽、强”的要求, 材料的厚度应尽可能薄, 因此对吸波材料本身

电磁性能的要求越来越高。但是, 现阶段性能较好的常规吸收剂, 其电磁性能一般都存在限制^[5], 如球形吸收剂的理论本征磁导率最大为 3, 而实际上超过 2 都很困难。采用单层材料很难达到宽频隐身的目的。因此, 笔者考虑使用复合吸收剂和多层结构来解决这个问题。采用多层结构设计后, 其可变参量增多, 也就更容易达到可调参数的控制, 可在厚度尽可能小的情况下达到宽频吸波的效果。

2 实验部分

2.1 原材料

常规粉体吸收剂: 工业级, 市售;

导电纤维: 工业级, 直径 8 μm , 长度根据需要可以调节, 市售;

改性聚氯乙烯(PVC): 工业级, 重庆长寿化工有限公司。

2.2 设备与仪器

平板压机: 100 t, 台湾东毓油压机械股份有限公司;

弓形反射率测试系统: 中国科技集团电子公司第四十一研究所;

平板模: 自制。

2.3 试样制备

根据吸波材料的吸波原理及结构设计方案, 选用多层结构, 将改性 PVC 基体与由常规粉体吸收剂和导电纤维构成的复合吸收剂按一定配比充分混合, 放入自制平板模中, 在 100 t 平板压机中压制成型, 并制成 180 mm × 180 mm 的试样。压制成型温度 160℃, 时间 15 min, 压力 10 MPa。

2.4 反射率的测量

按照 GJB 2038 - 1994 使用弓形反射率测试系统测试吸波性能。该测试系统的工作方式为扫频测

量,通过更换接收和发射天线可使测量范围达到 2 ~18 GHz。图 1 为反射率测试示意图。

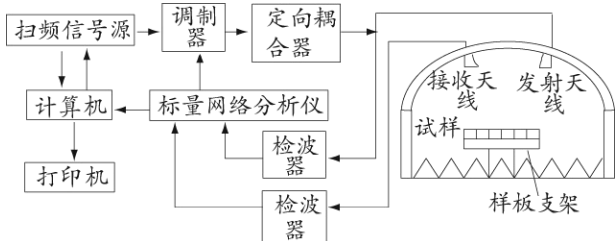


图 1 反射率测试示意图

3 结果与讨论

选用吸收剂是制备吸波材料最核心的部分。采用单一常规吸收剂制备的吸波材料难以满足吸收频带宽、厚度薄、面密度小的要求。导电纤维在吸波体中可以充当电耦合体,提高复介电常数值,降低反射率。因此,用常规吸收剂与导电纤维组成的复合吸收剂制备吸波材料。

3.1 常规粉体吸收剂含量对材料吸波性能的影响

图 2 为常规粉体吸收剂含量不同时吸波材料的频率 - 反射率曲线。

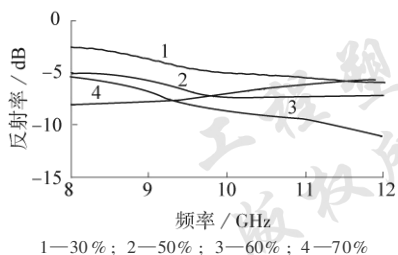


图 2 常规粉体吸收剂含量不同时材料的频率 - 反射率曲线

由图 2 可看出,当常规粉体吸收剂含量由 30% 增加到 60% 时材料的反射率降低,吸波性能提高;当吸收剂含量增加到 70% 时,反射率峰值略有提高,吸波性能略有下降,但此时吸收峰向低频偏移,更有利于宽频吸波。这是由于吸波材料同电磁波的作用,包括入射到材料面层及底层界面的反射波之间的干涉作用和吸收剂对电磁波的吸收作用。吸收剂含量增加时,材料的电磁参数 ϵ 、 μ 增大,使电磁波的电损耗和磁损耗都增大,因此,吸收峰增大。产生干涉作用对应的波长可表示为:

$$\lambda_0 = 4d \quad | \quad \epsilon\mu | \quad (3)$$

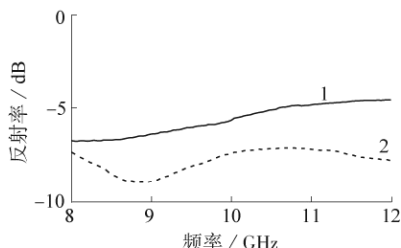
式中: λ_0 ——干涉波长。

在材料厚度一定时,随吸收剂含量增加,材料的电磁参数 ϵ 、 μ 增大, λ_0 变大,吸收峰向低频移动。

3.2 导电纤维对材料吸波性能的影响

为验证导电纤维在材料中的吸波作用,在固定

常规粉体吸收剂含量为 70% 的条件下,进行了在常规粉体吸收剂中掺混导电纤维与不掺混导电纤维的对比试验,结果如图 3 所示。



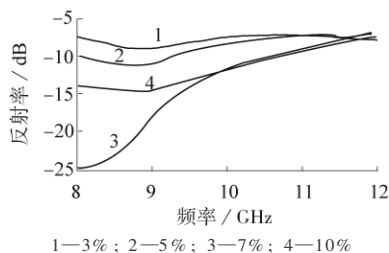
1—无导电纤维; 2—有导电纤维

图 3 掺混导电纤维与不掺混导电纤维材料的频率 - 反射率曲线

由图 3 可知,在常规粉体吸收剂中掺混导电纤维后材料的反射率降低,且出现了谐振峰值,吸波效果变好。这可能是因为具有一定长度的导电纤维可以作为电偶极子(谐振子)与入射电磁波谐振而产生谐振感应电流,并将感应电流大量消耗在损耗性基体介质中,从而起到衰减电磁波能量的作用,引起能量的吸收和辐射,从而“放大”了吸收剂的功能。

3.3 导电纤维含量对材料吸波性能的影响

在常规粉体吸收剂含量为 70% 条件下,改变导电纤维的含量,压制出厚度为 1 mm 的试样,测试其吸波性能,结果如图 4 所示。



1—3%; 2—5%; 3—7%; 4—10%

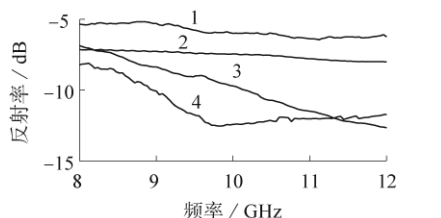
图 4 导电纤维含量不同时材料的频率 - 反射率曲线

由图 4 可看出,当导电纤维含量由 3% 增加到 7% 时,反射率明显降低,但当导电纤维含量增加到 10% 时,反射率比 7% 时提高,吸收峰略向高频偏移。出现上述情况的原因可能是由于随导电纤维含量的增加,基体中导电纤维彼此接触或靠近的几率增大,从而使材料的导电性增加,导致介电常数增大。谐振子含量变化,意味着改变了谐振子间的距离,导致谐振子间距对电磁波的作用呈现多效应^[6]。谐振子含量低时,各谐振子间的相互作用较弱,各谐振子成为相互独立的电偶极子,靠阻抗相互联系,成为多元离散振子阵。当导电纤维含量在临界含量以下时,随着导电纤维含量的增加,损耗增大,反射率降低;但当导电纤维含量超过临界含量

时, 谐振子含量增加, 相互靠近的谐振子间相互排斥, 电场相互叠加, 显示出强反射特性, 损耗降低, 反射率升高。在本试验中, 当导电纤维含量达到 10% 时, 已经超过了临界含量, 加之导电纤维之间分散不均, 部分互相搭接, 使吸收性能反而降低。

3.4 导电纤维长度对材料吸波性能的影响

导电纤维是各向异性的吸收剂, 其长度也是影响材料吸波性能的重要参数。因此选取不同长度的导电纤维与一定含量的常规粉体吸收剂复合, 进行了制备吸波材料的探索性试验, 结果如图 5 所示。



1—0.25 mm; 2—0.5 mm; 3—1.0 mm; 4—2.0 mm

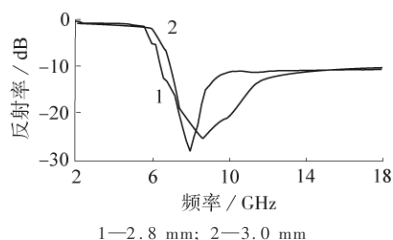
图 5 不同导电纤维长度时材料的频率—反射率曲线

由图 5 可知, 导电纤维长度为 2 mm 时, 材料的反射率较低, 吸波性能较好。这是由于此时导电纤维的长度接近于介质中传输波长的一半, 谐振效应强, 吸收损耗大。由于工艺条件所限, 增加导电纤维长度时纤维在基体中很难分散, 在后续增加纤维长度的试验中没有得到更有价值的结论, 因此, 考虑多方因素, 确定导电纤维长度为 2 mm。

3.5 综合匹配

由以上试验结果可知, 当常规粉体吸收剂含量为 70%、导电纤维含量为 7% 时, 导电纤维与常规粉体吸收剂构成的复合吸收剂具有最优的吸波效果。采用这种复合吸收剂并采用多层结构可得到效果较优的吸波材料。图 6 示出两种不同厚度的三层结构

吸波材料在厘米波段的吸波性能。



1—2.8 mm; 2—3.0 mm

图 6 两种不同厚度的三层结构吸波材料的频率—反射率曲线

由图 6 可见, 材料厚度为 2.8 mm 时, 在 6 ~ 18 GHz 范围内的反射率都小于 -10 dB; 材料厚度为 3.0 mm 时, 在 7 ~ 18 GHz 范围内的反射率都小于 -10 dB。相对来说, 材料厚度为 2.8 mm 时吸波性能较好。

4 结论

导电纤维掺混于常规粉体吸收剂中, 可以大幅度地提高材料的吸波性能。导电纤维的掺混量有一个最佳值。通过适当的匹配, 可以制得宽频雷达吸波材料。但是, 得到的材料在低频波段的吸波效果很差, 如何解决低频波段材料的雷达吸波性能, 仍应进一步探讨和验证。

参考文献

- 1 穆中国, 朱金华, 王源升. 雷达吸波材料的研究现状及发展前景. 胶体与聚合物, 2002, 20(4): 40
- 2 巩晓阳. 吸波材料的研究现状与进展. 河南科技大学学报, 2003, 24(2): 19
- 3 吴晓光. 国外微波吸收材料. 长沙: 国防科技大学出版社, 1992.
- 4 R. E. 柯林, 吕维尧. 微波工程基础. 北京: 人民邮电出版社, 1981.
- 5 陈曙, 杨, 史莹冰. 磁性纤维对常规隐身材料的掺杂研究. 航天电子对抗, 2001(6): 46
- 6 张治成, 郑元锁. 复合材料中短纤维长径比及其分布. 西安交通大学学报, 2002, 36(7): 761

RESEARCH ON BROADBAND RADAR ABSORBING MATERIALS

Zhu Hongli¹, Ye Zhishu², Chen Kailai¹, Yu Mingxun¹

(1. CNGC Institute 53, Jinan 250031, China; 2. Armoured Force Stationed in No. 256 Plant in Chongqing,

General Equipment Headquarters, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT Broadband radar absorbing materials were prepared by blending modified poly(vinyl chloride) with complex absorbers including regular powder absorbers and conducting fibers. The reflectivity characteristics of these materials in the range of 2 ~ 18 GHz were analyzed by means of network analysis. The material of reasonable composition had good absorbing property in 6 ~ 18 GHz band, and the reflectivity was less than -10 dB as the thickness was 2.8 mm.

KEYWORDS regular powder absorber, conducting fiber, modified poly(vinyl chloride), radar absorbing material

聚乳酸又有新用途

美国 Nature Works 公司最近用聚乳酸 (PLA) 为国际卡片生产商 UV Color 公司生产出一种新型电话卡, 现已投放

市场。UV Color 公司的 Earthsource 牌卡片也是用 PLA 生产的, 该产品可作为商店会员卡使用。这种新型卡片在使用废弃后可用来积肥或燃烧处理, 不会产生有害气体。(孟晶)