

# 无人目标机隐身优化设计与改装技术研究

穆阳<sup>1</sup>, 李皓<sup>1</sup>, 王震<sup>1</sup>, 苗毅<sup>1</sup>, 段士昌<sup>2</sup>

(1.中国飞行试验研究院 航电所, 陕西 西安 710089; 2.西北工业大学 凝固技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072)

**摘要:**针对当前雷达性能试验过程中对低可探测目标机的迫切需求以及磁性吸波涂层应用时存在的面密度大等诸多缺陷,通过优化设计吸收剂含量和涂层厚度,获得一种以碳纳米管(CNTs)为主吸收剂的轻质电损耗型吸波涂层,利用该涂层对某型无人目标机进行隐身优化设计和改装,飞行试验验证了机载雷达对无人目标机的作用距离。结果表明:当CNTs含量接近15%时,2.5 mm厚的吸波涂层在8.2~12.4 GHz频段内具有优异的吸波性能,反射率均能达到-8 dB以下。经设计涂覆处理后,无人目标机各强散射中心得到有效减弱,飞行试验结果表明涂覆后无人目标机的雷达散射截面(RCS)相比涂覆前缩减可达20 dB左右。

**关键词:**碳纳米管;吸波涂层;隐身改装;雷达散射截面;雷达作用距离

**中图分类号:**V218

**文献标志码:**A

**文章编号:**1000-2758(2020)02-0246-07

为了提高军事目标的生存能力与作战武器系统的突防和纵深打击能力,发展和应用隐身技术已成为各国军事技术研究的重要方向<sup>[1]</sup>。特别是当前电子对抗技术的迅速发展使得雷达探测能力不断增强,针对非隐身武器装备的隐身化升级已尤为迫切和关键。雷达吸波材料(RAM)作为雷达隐身技术的重要组成部分,具有电磁吸收能力好、可设计性强、制造难度小、耗资低等优点,特别是可用于改进在役、在研飞行器,能够有效突破由于苛求外形设计与隐身兼顾带来的气动性能下降、装容空间减小以及其他综合作战效能降低的瓶颈<sup>[2]</sup>。

美国在飞行器隐身设计、隐身材料开发和工艺研究、测试评估等方面最具优势,先后完成了T-33教练机、B-1战略轰炸机、F/A-18C/D战斗机等数型在役装备的隐身改装升级并取得了显著成果。我国近年来在飞行器隐身设计、隐身技术的工程应用方面均取得了较大进展,已将相关隐身技术应用于多个型号的研制中。由于在役飞机的结构已定,隐身改装时不宜大动外形,主要利用隐身材料对座舱、进气道、雷达天线舱、局部机身结构等强散射部位进行隐身处理,同时可适当地进行外形修形。虽然我国的隐身材料技术发展迅速,各类型隐身材料、隐身结

构层出不穷,但仍难以很好地满足新型武器装备对隐身材料“厚度薄、质量轻、频带宽、吸收强、易维护、多功能”特性的要求。目前对于飞机大部分结构的隐身处理仍然以涂覆型材料为主,大多数以磁损耗或电损耗为主的吸波涂层在“以X波段为主,兼顾L、S、C、Ku波段”具有良好的吸波性能<sup>[3]</sup>。由于磁性涂层的吸收剂主要为铁氧体、羰基铁、金属化合物等磁性材料,厚度一般要求较薄( $\leq 1.5$  mm),为了获得优异的吸波性能,通常需要在基体中加入大量吸收剂,制备的涂层不仅面密度高(单位厚度涂层可达 $3.4\sim 4.0$  kg/m<sup>2</sup>),同时存在脆性较大、柔韧性差、反复热冲击下易开裂和剥落等诸多工程应用问题。电损耗型吸波涂层以导电纤维、纳米碳材料、介电陶瓷等吸收剂为主体,这类涂层虽然设计厚度相对较大(1~3 mm),但面密度小( $\sim 1.0$  kg/m<sup>2</sup>),即使整机全部涂覆时增重也较小,不减少飞机加油量和缩短航程,能够有效平衡隐身性能与飞行效能之间的矛盾<sup>[4-5]</sup>。

本文主要结合当前机载雷达在性能试验过程中对低可探测试验机的需求,以某型无人机为研究对象,以轻质电损耗型吸波涂层为应用主体,开展吸波涂层性能优化设计、试验对象散射特性成像分析等

**收稿日期:**2019-04-14

**基金项目:**国家自然科学基金(51502236)资助

**作者简介:**穆阳(1989—),中国飞行试验研究院高级工程师、博士,主要从事隐身材料、隐身设计研究。

研究工作,最终以飞行试验完成无人目标机的实装效果验证。

## 1 吸波材料的优化设计

### 1.1 吸波材料的物理机制

材料对电磁波的作用主要包括反射、吸收和透射。良好的吸波材料要求尽可能多地吸收入射波而减弱透射和反射回波,其吸波性能主要由反射率  $R_L$  衡量<sup>[6-7]</sup>

$$R_L = 20 \lg \left| \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \right| \quad (1)$$

式中:  $Z_{in}$  为吸波材料的特征阻抗;  $Z_0$  为自由空间的特征阻抗,分别表示为

$$Z_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\varepsilon_r}} \tanh \left[ j \left( \frac{2\pi f t}{c} \right) \sqrt{\mu_r \varepsilon_r} \right] \quad (2)$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\varepsilon_0}} \approx \sqrt{\frac{1.257 \times 10^{-6} \text{ H/m}}{8.854 \times 10^{-12} \text{ F/m}}} \approx 376.8 \Omega$$

(3)

式中:  $c$  为光速 ( $2.998 \times 10^8 \text{ m/s}$ );  $t$  为厚度 (mm);  $f$  为频率 (Hz);  $\varepsilon_0$  和  $\mu_0$  分别为真空介电常数和磁导率;  $\varepsilon_r$  和  $\mu_r$  分别为相对复介电常数和复磁导率。

由(3)式可知,对于特定频段,材料的吸波特性取决于复介电常数、复磁导率及其厚度。为了将电磁波引入吸波材料内部并损耗掉,要求材料必须具备阻抗匹配特性和衰减特性。阻抗匹配即要求材料的特征阻抗与自由空间阻抗一致,减少电磁波的表面反射而进入材料,因此需要  $\mu_r$  和  $\varepsilon_r$  相等,但实际很难达到,其设计目标就是尽可能使  $\mu_r$  和  $\varepsilon_r$  相匹配,在较宽的频段内获得优异的反射率。衰减特性是使进入材料的电磁波最大程度地被衰减,要求  $\varepsilon_r$  和  $\mu_r$  的虚部应足够大<sup>[8]</sup>。本文所用吸收剂为含有碳纳米管(CNTs)的电损耗型吸收剂,因此磁导率的实部和虚部分别为1和0,在材料的优化设计中,仅需考虑通过调整CNTs的含量及涂层厚度来优化涂层的介电常数和吸波性能即可。

### 1.2 试验内容和方法

由于无人机载荷性能有限,对涂层面密度的要求极为苛刻。为获得面密度较小且性能优异的吸波涂层,以丙烯酸树脂为基体,多层CNTs为吸收剂,采用喷涂的方法制备不同CNTs含量的涂层,并利用矩形波导法对其复介电常数进行测试,频段为

8.2~12.4 GHz,样品尺寸为  $22.86 \text{ mm} \times 10.16 \text{ mm} \times 2.0 \text{ mm}$ 。根据测得的复介电常数,结合公式(1)~(3)对不同厚度的反射率进行计算,以评估特定组分及厚度涂层的吸波性能。附着力采用拉开法测试,依据标准 ASTM C633-13 在万能试验机上进行,按照记录的最大载荷对附着力进行计算。涂层的断面形貌采用扫描电子显微镜(SEM)进行观察。

由于CNTs具有较大的活性和长径比,过高含量的CNTs易导致团聚,形成连续导电网络,对电磁波产生强反射。因此在试验设计过程中,基于对纳米碳类吸收剂的研究经验,主要研究CNTs质量分数为6%,9%,12%,15%,18%,21%时涂层介电性能和吸波性能的演变规律。同时,前期对较大厚度范围内涂层的反射率均进行了计算,为简化试验讨论和避免数据冗杂,文中只给出了代表性的具有较佳反射率的不同厚度涂层的反射率曲线。

### 1.3 结果和讨论

对不同CNTs含量吸波涂层的复介电常数进行测试,结果如图1所示。

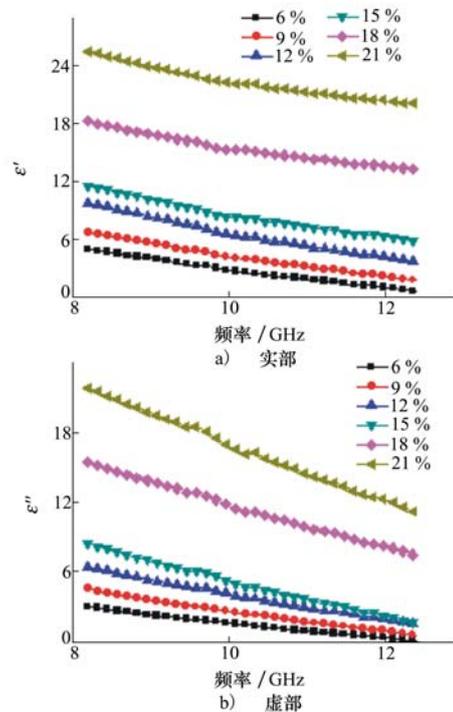


图1 不同CNTs含量吸波涂层的复介电常数

可以看到,涂层复介电常数的实部  $\varepsilon'$  和虚部  $\varepsilon''$  值均随CNTs含量的增加逐渐增大,并且相对增幅也逐渐加大。当含量从6%增至15%时,10 GHz处

的复介电常数从 2.8-j1.6 增大至 8.4-j5.2, 含量进一步增至 21% 时, 复介电常数已增大至 22.3-j16.9。

一方面, 可用复合材料混合法则解释不同 CNTs 含量涂层介电性能的差异。对于吸收剂均匀分散的涂层, 其组分主要包括丙烯酸树脂基体、CNTs 吸收剂。可根据等效电磁参数理论将  $\epsilon'$  和  $\epsilon''$  表示成如下对数方程<sup>[9]</sup>

$$\ln \epsilon' = V_M \ln \epsilon'_M + V_{CNT} \ln \epsilon'_{CNT} \quad (4)$$

$$\ln \epsilon'' = V_M \ln \epsilon''_M + V_{CNT} \ln \epsilon''_{CNT} \quad (5)$$

式中:  $\epsilon'_M, \epsilon'_{CNT}$  为树脂基体、CNTs 的复介电常数实部;  $\epsilon''_M, \epsilon''_{CNT}$  为各组分的复介电常数虚部;  $V_M, V_{CNT}$  为各组分的体积分数。CNTs 为导电性材料, 具有高的电导率和复介电常数; 树脂基体为复介电常数低的透波介质, 特别是虚部接近于 0。因此, 随着 CNTs 含量的增加, 树脂基体的相对含量减小, 导致涂层整体复介电常数的实部和虚部均逐渐增加。

另一方面, 复介电常数实部的增加源于 CNTs 中自由电子对外加电场的响应。CNTs 含量的增加导致电偶极矩数量增多, 偶极子极化能力随之增强。

同时, 在外加电场作用下, CNTs 中的电子在两者的界面形成局部积累, 表现出较强的界面极化效应, 因此实部值逐渐增大。而复介电常数虚部的增加是由松弛极化损耗和电导损耗的提高引起的, 其中电导损耗与材料的电导率相关。本研究之所以以纳米 CNTs 为主吸收剂, 不仅是由于其密度较低, 更重要的是这种一维材料具有大的长径比, 在含量较低时就易形成导电网络, 使得涂层与自由空间形成良好的阻抗匹配, 电磁波可最大限度进入材料内部, 从而拓宽频段。

图 2 给出了各 CNTs 含量涂层在不同厚度下的反射率。可以看到, CNTs 含量为 12% 时, 整个 X 频段内的反射率随着厚度的增加先减小后增大, 2.9~3.5 mm 厚度范围内的反射率均在 -8 dB 以下; 含量为 15% 时, 涂层在 2.4~3.1 mm 厚度时具有良好的反射率; 在更高含量时, 涂层在任何厚度下的反射率均大于 -8 dB, 这主要是由于复介电常数过大造成的。对比可见, 15% CNTs 含量涂层在较小厚度下 (2.5 mm) 反射率良好, 这在工程应用中更具优势。

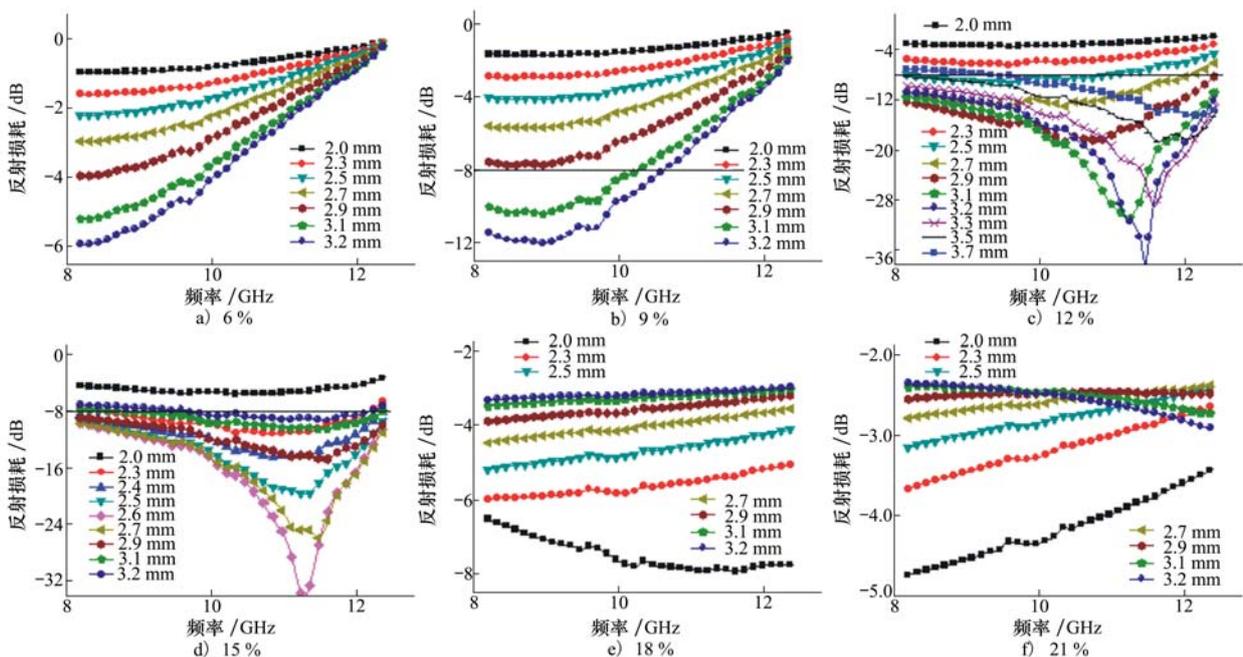


图 2 不同 CNTs 含量吸波涂层在不同厚度下的反射率

对比厚度为 2.5 mm 时不同 CNTs 含量涂层的反射率曲线, 如图 3a) 所示。随着 CNTs 含量的增加, 反射率先减小后增大, 15% 时达到最佳, 且出现显著的吸收峰。如前所述, 良好的吸波材料必须同时满足阻抗匹配特性和衰减特性, 因此, 根据公式

(2) 和  $\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon'$  对特性阻抗和损耗角正切进行了计算, 如图 3b) 和 3c) 所示。虽然低 CNTs 含量的涂层具有较好的阻抗匹配, 但是介电损耗较小, 进入材料内部的电磁波衰减较少便被透过; 高 CNTs 含量的涂层具有强的介电损耗, 但其特性阻抗与空气阻

抗严重失配。

在实际工程应用中,考虑到飞行效能对材料厚度的限制,本文选择 15% CNTs 含量、2.5 mm 厚度作为本次装机验证时涂层的设计参数。经测试,该厚度涂层的面密度仅为  $1.0 \text{ kg/m}^2$ ,机身外表物理面积为  $100 \text{ m}^2$  的飞机全机涂覆时增重仅为 80 kg,相比磁性吸波涂层具有极大的优势。图 4 为 15%

CNTs 含量、2.5 mm 厚度下涂层的附着力和断面形貌,可以看到涂层附着力平均值为 4.1 MPa。涂层断面扫描照片显示,该含量时 CNTs 吸收剂基本均匀地分散在树脂基体中,且出现了较为明显的团聚缠绕现象,这正是由于 CNTs 高的比表面积和范德华力导致的。

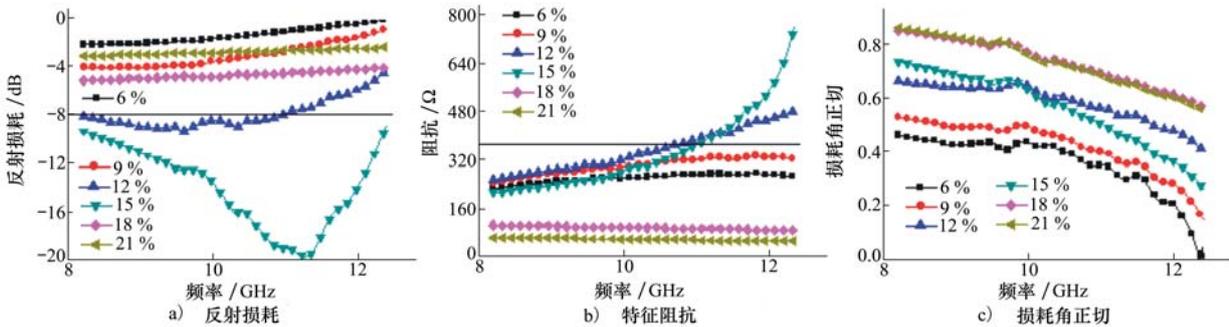


图 3 厚度为 2.5 mm 时不同 CNTs 含量吸波涂层的反射率

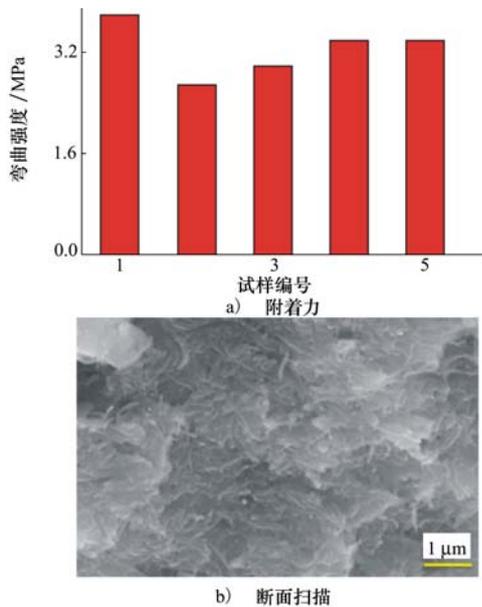


图 4 15% CNTs 含量、2.5 mm 厚度吸波涂层的附着力和断面扫描照片

## 2 试验机改装设计与材料装机效果验证

为验证吸波涂层装机后整体作用效果,选取了某型无人试验机为研究对象,通过对试验机结构、散射特性进行分析,优化设计涂层涂覆方案,最终通过

对比机载雷达对涂覆前后试验机的探测距离,评估验证涂覆吸波材料后的 RCS 缩减程度。

### 2.1 试验机结构分析

某型无人机结构如图 5 所示,机体长约 3.0 m, 高约 1.0 m,翼展约 2.0 m。无人机垂直尾翼内部安装有遥测系统天线,为保持通讯正常,尾翼主体采用玻璃纤维增强环氧树脂复合材料制成;机头罩、机翼、水平尾翼以及机身整体结构均为玻璃纤维增强环氧树脂复合材料夹层碳纤维布,由于该复合结构内部夹层非常致密的连续碳纤维平纹布,经测试整体结构在 X 波段对电磁波产生全反射。因此在隐身材料涂覆设计时,为有效缩减整体结构散射特征,同时确保通讯链路正常工作,对机头罩、机翼、水平尾翼以及机身整体结构进行大面积涂覆。

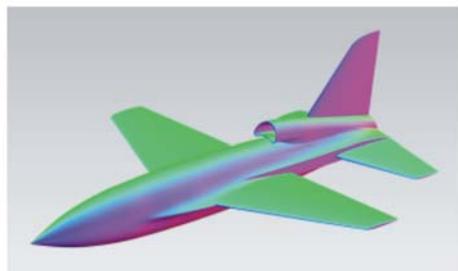


图 5 某型无人机整体结构示意图

## 2.2 试验机吸波涂层涂覆方案设计及实施

### 2.2.1 吸波材料涂覆设计依据

吸波材料对电磁波的衰减主要包括材料自身对电磁波能量的损耗以及空气/涂层界面与涂层/金属界面反射波的干涉相消作用,2 种损耗机制均对吸波效果影响较大。

图 6 给出了吸波涂层与不同基底材料的复合示意图。一般情况下,吸波涂层在设计时紧贴金属背板(见图 6a)),当涂层较厚时,空气/涂层界面与涂层/金属界面的反射回波较易满足  $(2n+1)\lambda/4$  的干涉相消条件,产生强的吸收峰;当涂层与反射面中间夹有一层透波材料层时(见图 6b)),若透波层厚度一致且为  $(2n+1)\lambda/4$  时,通过调整吸波涂层厚度,也能使其具有良好的反射率;而当前无人机的结构如图 6c)所示,其中内部夹层的碳纤维布在 X 频段时类似金属反射板,且表面环氧透波层厚度不均一,大部分位置是不满足干涉相消条件的,若直接在表面涂覆吸波涂层,无法起到良好的吸收效果,回波甚至会产生干涉增强的作用。因此在复合材料表面设计涂覆吸波材料时,需要将机体表面金属化,去除结构不一致带来的透波层厚度差异,使吸波材料达到最佳作用效果。

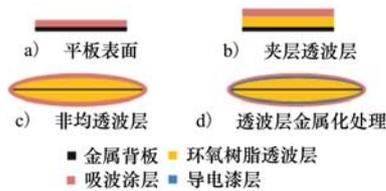


图 6 吸波涂层与不同基底材料复合示意图

### 2.2.2 试验机涂覆设计及实施

由于所用吸波涂层面密度仅为  $1.0 \text{ kg/m}^2$ ,根据物理面积,经计算评估整机涂覆增重不大于  $5 \text{ kg}$ ,远小于最大有效载荷,且涂覆后对无人机的重心几乎无影响。因此为使吸波材料达到最大的作用效果,设计对除垂直尾翼外的其余机体结构均进行涂覆,具体方案如下:

1) 首先,除垂直尾翼外,在无人机机头罩、机翼、水平尾翼、机身外表面、进气道内部均涂覆  $0.1 \text{ mm}$ 厚的导电漆;

2) 其次,在涂覆导电漆部位的表面均涂覆厚度为  $2.5 \text{ mm}$ 的吸波涂层。

导电漆和吸波涂层均采用手持式喷枪进行喷

涂,并利用电子测厚仪对机体各部位吸波涂层的厚度进行测量,以确保涂覆材料的厚度和反射率满足设计指标要求。图 7 给出了无人机涂覆吸波涂层后的效果图,可以看到,机体表面涂覆质量良好,经测试机体各部位涂层厚度均满足设计指标要求。



图 7 无人机涂覆吸波涂层后效果图

## 2.3 试验机散射特性对比分析

利用车载近场成像测试系统对涂覆前后无人机的散射特性进行了成像分析,该系统基于步进频率雷达散射截面(RCS)测试技术,通过横向移动扫描架,按一定小角度步进对目标进行测试,可实现  $8 \sim 12 \text{ GHz}$  频段整机的二维成像。测量过程采用标准金属球进行定标,利用相对比较法测量获取目标的 RCS。

本文对无人机在方位  $0^\circ$ 和俯仰  $0^\circ$ 视向下的二维散射图像进行了测试,测试频段为  $8 \sim 12 \text{ GHz}$ ,极化方式为:VV,目标测试距离为  $30 \text{ m}$ ,图 8 给出了无人机现场测试状态示意图。

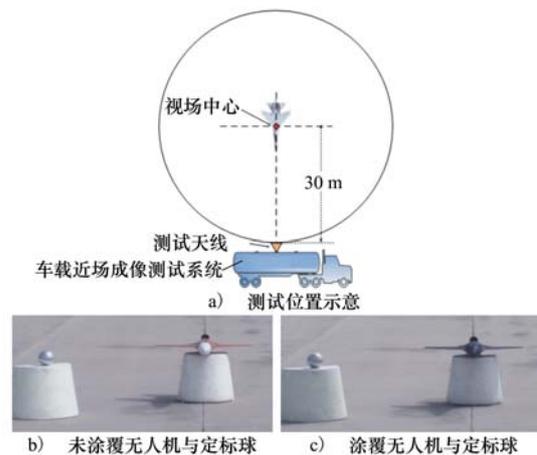


图 8 无人机测试状态示意图

图 9 给出了涂覆前后无人机在垂直极化下的二维散射特性近场成像结果。可以看到,未涂覆无人机的机头罩、机身、机翼、水平尾翼、进气道部位均表现出较强的散射特征;经吸波涂层处理后,这些散射

中心的散射特征明显减弱,但由于在  $0^\circ$  视向时明显可见金属发动机结构,在成像结果中仍能发现进气道部分呈现较强的散射特征。

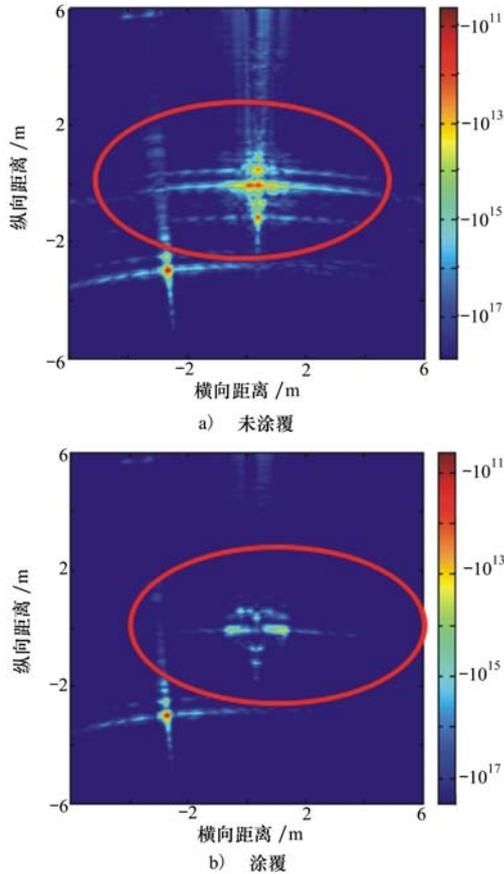


图 9 无人机二维近场成像测试结果

#### 2.4 探测距离对比试飞

为验证涂覆吸波材料后对无人试验机整体探测性能的影响,采用飞行试验的方法给出了机载雷达对涂覆前后无人机的探测距离,以评估吸波涂层处理后无人机的 RCS 缩减程度。

根据雷达作用距离方程可知,对于同一部机载雷达,当人为操作和环境影响较小时,其对不同目标的探测距离可反映目标之间 RCS 的大小,两者 RCS 之间的关系可用(6)式表示

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_2} = \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^4 \quad (6)$$

#### 参考文献:

- [1] 桑建华. 飞行器隐身技术[M]. 北京: 航空工业出版社, 2013: 1-5  
SANG Jianhua. Low-Observable Technologies of Aircraft[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2013: 1-5 (in Chinese)

具体的飞行试验方法为:

1) 配备机载火控雷达的载机与无人试验机按设定航线飞行,并形成迎头进入态势;

2) 2架机接近过程中,机载火控雷达对无人机进行探测,待雷达画面上出现试验机信息时,稳定一定时间后或到达航线末端后两机退出;

3) 对记录的雷达总线数据和视频画面进行事后处理和分析,给出雷达发现距离数据。

试验过程中对未涂覆与涂覆后的无人试验机各完成 4 航次的飞行试验,通过对比测试结果可以看到,各航次涂覆后无人机相比未涂覆无人机的 RCS 相对缩减幅度分别达到:19.7, 20.5, 19.5, 20.2 dB。

由此可见,经该型吸波材料处理后,有效缩减了无人试验机在迎头视向的 RCS。一方面是由于无人机外形在迎头方向无明显的镜面反射结构,电磁波与机身作用后大部分形成前向散射回波,后向散射较小;另外更重要的是由于吸波涂层具有优异的吸波性能,能够进一步有效减弱行波散射对整机 RCS 的影响,使整体呈现低的散射特性。

### 3 结 论

雷达吸波材料是飞行器进行隐身优化设计的关键技术。本文通过优化设计 CNTs 的吸收剂含量和涂层厚度,获得了一种超轻质、强吸收的电损耗型吸波涂层,结果表明,当 CNTs 含量达到 15%,涂层厚度为 2.5 mm 时,吸波材料的反射率在整个 X 频段均能达到 -8 dB 以下,具有优异的吸波性能,且面密度仅为  $1.0 \text{ kg/m}^2$ 。利用该型吸波涂层对某型无人机进行隐身优化设计,经整机涂覆处理后,二维散射特性成像结果表明机体上的强散射中心的散射特征得到有效较弱,飞行试验结果显示涂覆后无人机的 RCS 缩减程度达到 20 dB 左右,表明该型吸波涂层具有优异的作用效果。本研究工作提出的电损耗型吸波涂层相比磁性吸波涂层在实际工程应用中更具优势,初步探讨了利用该体系涂层进行无人机平台隐身化升级的技术路径,为开展其他平台隐身改装升级具有指导意义。

- [2] 刘顺华, 郭辉进. 电磁屏蔽与吸波材料[J]. 功能材料与器件学报, 2002, 8(3): 213-217  
LIU Shunhua, GUO Huijin. Electromagnetic Interference Shielding and Wave-Absorbing Materials[J]. Journal of Functional Materials and Devices, 2002, 8(3): 213-217 (in Chinese)
- [3] MU Yang, ZHOU Wancheng, LUO Fa, et al. Electromagnetic Interference Shielding Effectiveness of SiCf/SiC Composites with PIP-SiC Interphase after Thermal Oxidation in Air[J]. Journal of Materials Science, 2014, 49: 1527-1536
- [4] TIAN Hao, LIU Haitao, CHENG Haifeng. A High-Temperature Radar Absorbing Structure: Design, Fabrication, and Characterization[J]. Composites Science and Technology, 2014, 90: 202-208
- [5] LIU Haitao, CHENG Haifeng, WANG Jun, et al. Dielectric Properties of the SiC Fiber-Reinforced SiC Matrix Composites with the CVD SiC Interphases[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2010, 491: 248-251
- [6] KONG Luo, YIN Xiaowei, HAN Meikang, et al. Carbon Nanotubes Modified with ZnO Nanoparticles: High-Efficiency Electromagnetic Wave Absorption at High-Temperatures[J]. Ceramics International, 2015, 41: 4906-4915
- [7] ZHANG Yajun, YIN Xiaowei, YE Fang. Effects of Multi-Walled Carbon Nanotubes on the Crystallization Behavior of PDCs-SiB-CN and Their Improved Dielectric and EM Absorbing Properties[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2014, 34: 1053-1060
- [8] MU Yang, ZHOU Wancheng, HU Yang, et al. Temperature-Dependent Dielectric and Microwave Absorption Properties of SiCf/SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Composites Modified by Thermal Cross-Linking Procedure [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2015, 35 (11): 2991-3003
- [9] 高正娟, 曹茂盛, 朱静. 复合吸波材料等效电磁参数计算的研究进展[J]. 宇航材料工艺, 2004(4): 12-15  
GAO Zhengjuan, CAO Maosheng, ZHU Jing. Development in Study of Effective Electromagnetic Parameters of Absorbing Composite[J]. Aerospace Materials & Technology, 2004(4): 12-15 (in Chinese)

## Optimized Stealth Design and Remolding of Target Unmanned Aerial Vehicle

MU Yang<sup>1</sup>, LI Hao<sup>1</sup>, WANG Zhen<sup>1</sup>, MIAO Yi<sup>1</sup>, DUAN Shichang<sup>2</sup>

(1. Department of Avionics, Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China;  
2. State Key Laboratory of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

**Abstract:** In order to satisfy the imperious requirements of low-detectable target aircraft in the current test and evaluation of airborne radar and to remedy the numerous defects of magnetic microwave absorbing coating in the practical application, a new type of light-weight electric loss coating with the carbon nanotubes (CNTs) was proposed by the optimal design of the absorbent content and coating thickness. A type of target unmanned aerial vehicle (UAV) with representative non-stealth structure was remolded by the present type of coating, and the detection range of airborne radar to the remolded UAV was obtained in the flight test. The results reveal that the microwave absorbing coating with a thickness of 2.5mm has the optimized microwave absorbing properties at a CNTs content of 15wt.%, and the reflection loss value can be inferior to -8dB over the whole X band. The intensity level of scattering center of the UAV degrades after coated, and the radar cross section (RCS) of coated UAV decreases by 20dB in the flight test.

**Keywords:** CNTs; microwave absorbing coating; stealth remolding; RCS; radar detection range