

应用技术

多波段草型伪装网的研制

颜家斌, 刘颖, 胡传炘, 沈忱

(北京工业大学, 北京 100022)

[摘要] 主要探讨了三维草型伪装网的吸波机理,在雷达吸波涂层设计的基础上,提出了三维草型结构对雷达吸波效果的作用;三维草型结构在2~18GHz波段中,合格带宽为16GHz,其中最大衰减值可达30dB;同时对草型伪装网的光学隐身进行设计,实现了可见光及近红外的隐身。草型伪装网最终实现了雷达、可见光及近红外兼容隐身。

[关键词] 伪装网;吸波结构;吸波涂层;三维草型结构

[中图分类号] TQ637

[文献标识码] A

[文章编号] 1001-3660(2008)01-0075-02

The Manufacture on Multi-wave Band Grass-model Camouflage Web

YAN Jia-bin, LIU Ying, HU Chuan-xin, SHEN Chen

(Beijing University of Technology, Beijing 100022, China)

[Abstract] The principle of wave absorbing of the three-dimensional grass-model camouflage web was mainly discussed. The grass-model structure plays an important role for the radar absorption of camouflage web on the basis of wave absorbing coatings. The working band is 16 GHz and the peak value of the reflectivity can reach to 30dB by using the grass-model camouflage web at the range of 2 ~ 18 GHz. The stealthy at visible band and near infrared band was achieved by improving the grass-model camouflage web. The stealth compatibility at radar, optical and near infrared band was realized ultimately.

[Key words] Camouflage web; Wave absorbing structure; Wave absorbing coatings; Three-dimensional grass-model

0 引言

伪装网是军事上用来遮盖枪支、坦克、装甲车等军事武器或军事目标以达到降低可探测性的隐形遮盖物。伪装,就是利用电磁学、光学、热学、声学等技术手段,改变目标原有的特征信息,隐真示假,降低敌人的侦察效果,使敌方对己方军队的位置、企图、行动等产生错觉,造成其指挥失误,以最大限度地保存自己,消灭敌人^[1]。因此,随着探测能力的增强,现在的伪装网需满足厘米、毫米波兼容可见光、近红外、热红外等多频谱的隐身功能。

历经几十年的研究发展,伪装网已由单一防护波段、单一背景发展到具备防紫外线、可见光、近远红外线、雷达等侦察的能力,且适用于不同背景,形成系列化。瑞典巴拉库达公司在2003年研究开发的多波段超轻型伪装网(BMX-ULCAS)采用了独特的专利技术,通过一种多功能涂料技术达到多频谱隐身兼容目的,具有防光学、防近红外、防中远红外、防雷达侦察的性能。本文结合伪装网的结构和隐身涂层2个方面进行研制,从而实现防光学、防近红外、防雷达等多波段兼容隐身。

1 伪装网的散射及吸波结构设计

伪装网的结构是吸波效果的关键。结构的设计降低了人们对雷达吸波材料的过分依赖,涂层厚度减薄,质量减轻,从而实现“薄、轻、强、宽”^[2]等设计要求。这里的结构设计主要涉及到雷达散射截面积的变化。

在最初的结构设计中,我们选择对伪装网的2种结构(平板型和草型,见图1、图2)进行了对比性的研究分析,它们的制板尺寸为标准尺寸180mm×180mm,涂层厚度为0.75mm。在对伪装网结构吸波性能的研究中,平板型和草型采用了改性羰基铁粉加粘结剂作雷达吸波涂层。结构设计主要考虑到雷达散射截面积的大小。

雷达散射截面积^[3](简称为雷达截面)是在给定方向上返回或散射功率的一种量度。它用入射场的功率密度归一化。该散射功率还将进一步归一化,以使得由于散射波的球面扩散引起的衰减不致成为计算雷达截面 σ 的1个因子^[4]。这样归一化的目的是消除距离的影响,使其不取决于目标和雷达之间的间距。形式上,雷达截面是:

$$\sigma = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|\vec{E}^s|^2}{|\vec{E}^i|^2} = 4\pi \lim_{R \rightarrow \infty} R^2 \frac{|\vec{H}^s|^2}{|\vec{H}^i|^2} \quad (1)$$

雷达截面通常以 m^2 为单位给出,并常表达为对数形式,即

[收稿日期] 2007-09-07

[作者简介] 颜家斌(1977-),男,湖南娄底人,硕士,研究方向:表面工程。



图1 草型伪装网

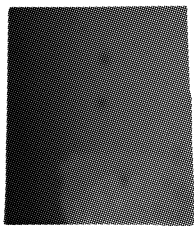


图2 平板型伪装网

Figure 1 The structure of grass-model Figure 2 The structure of plate

对于 1m^2 的分贝数:

$$\sigma_{\text{dBsm}} = 10 \lg \sigma \quad (2)$$

式中,参考面积为 1m^2 。各种目标的回波信号可以有 80dB 的变化范围。对于雷达截面减缩(RCSR),减小 $x\text{dB}$ 就意味着返回的散射功率减少的百分数为 $(1 - 10^{-\frac{x}{10}}) \times 100\%$ 。换句话说,减少 10dB 就意味着原功率只剩下 1/10, 20dB 就意味着剩下 1/100 的功率, 30dB 意味着剩下 1/1000 的功率。其中平板型及草型的雷达吸波测试曲线如图 3、图 4 所示。

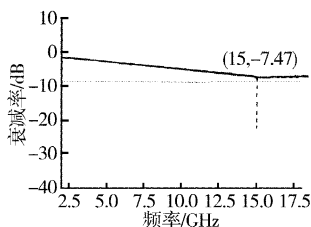


图3 平板型伪装网测试结果

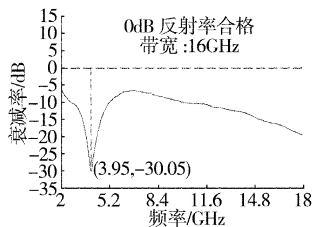


图4 草型伪装网测试结果

Figure 3 The test result of plate-model Figure 4 The test result of grass-model

根据曲线分析,平板型在 15GHz 达到最大衰减值 7.47dB,而在同等条件下,草型结构在 2~18GHz 频段内,吸波效果都比较好。并且草型结构体现出几个明显的特点:1)最大衰减达到 30dB;2)最大衰减值所对应的频率移向低频区;3)实现宽频段吸波,在 2.5~4.5GHz 波段,有大于 15dB 的雷达波衰减,峰值可达 30dB,在 4.5~12GHz 波段,有大于 10dB 的雷达波衰减,在 12~18GHz 波段,有大于 15dB 的雷达波衰减,从而实现在 2.5~18GHz 波段有大于 10dB 的宽波段的雷达波衰减。

原因分析:三维草型吸波结构的选择可以增加电磁波在草丛中的反射次数,波行程增加,每一次反射都会发生磁损耗,通过多次反射吸收使回波强度极大减弱^[5];同时草型结构可使电磁波实现漫反射,即雷达散射截面缩小,减少电磁波沿原发射波方向返回的电磁波能量。

对 2 种吸波结构分析得知,草型伪装网结构比平板型能更好地实现在 2~18GHz 全频段的雷达波衰减,合格带宽达 16GHz。

2 伪装网的吸波涂层设计

2.1 雷达吸波涂层设计

使用羰基铁粉吸波材料对微波能量的吸收作用是基于铁磁共振现象,在共振点磁性材料的损耗达到最大值,该吸收现象也

称共振吸收。当电磁波在无限均匀介质中传播时,电场矢量 E 和磁场矢量 H 与波阻抗 Z 的关系为:

$$Z = \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}}$$

式中, μ 为介质的磁导率, ϵ 为介质的介电常数。 μ 、 ϵ 参数决定着介质中电磁能量的积蓄和消耗,当介质存在损耗时, μ 、 ϵ 应以复数形式出现。

$$\bar{\epsilon} = \epsilon'_r - j\epsilon''_r$$

$$\bar{\mu} = \mu'_r - j\mu''_r$$

$\tan\delta_e = \epsilon''_r/\epsilon'_r$ 和 $\tan\delta_m = \mu''_r/\mu'_r$ 分别代表介质的电损耗角及磁损耗角。其值越大,材料的吸收率越高。羰基铁粉吸波材料是比较不错的吸波材料,它是一种既有一定介电常数和介电损耗,又有一定磁导率和磁滞损耗的双重介质。铁氧体除有电子共振损耗外,还具有羰基铁粉本身特有的畴壁共振损耗、磁矩自然共振损耗和粒子共振损耗等特点。其作用可概括为铁氧体对电磁波的介电损耗和磁损耗。至于粘结剂,则选用环氧树脂。

由于单一羰基铁粉制成的吸波材料难以满足吸收频带宽、质量轻、厚度薄等要求,因此在羰基铁粉中加入一些添加剂组成复合吸收剂,可使电磁参数得到较好的匹配。所以,实际使用的羰基铁粉吸波涂层往往不是单一的羰基铁粉涂层,而是通过复合组成的复合羰基铁粉吸波涂层。如羰基铁粉与镍粉、炭黑、石墨、碳化硅、树脂等复合形成改性羰基铁粉吸波材料。

2.2 光学(含可见光及近红外)隐身涂层设计

在可见光和近红外范围内,探测系统的探测效果决定于目标与背景之间的色差、亮度对比和镜面光泽等信息参数。在通常情况下,近红外隐身就是叶绿素伪装,即要求隐身涂料在可见光和近红外线的范围内,与天然叶绿素有相近似或相同的反射曲线,这样即可实现在可见光及近红外隐身,如图 5。

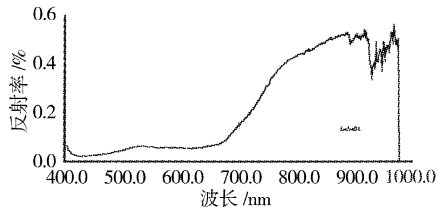


图5 绿色的光谱反射率曲线

Figure 5 The reflective curve of green paint

可见光及近红外外层颜料可选择无机颜料(如铬酸盐、氧化铁、三氧化铬、氧化锌、二氧化钛和炭黑等)和有机颜料(如花四酸配衍生物和偶氮化合物等)。按红外线发射曲线,颜料分为 E、O、L 三类,其中 O 类颜料的反射曲线与叶绿素更接近,是近红外伪装的最佳颜料^[6]。由于单一颜料不能满足隐身要求,因此需配置与自然背景一致的色调和光谱反射曲线的多种颜料的科学组合颜料。用高压喷涂的方法将颜料喷在草丛上面,形成均质密布的可见光及近红外涂层。

3 标准伪装网的组装

采用拼接的方法,先将一块块草丛模块($1\text{m} \times 1\text{m}$)用线连
(下转第 90 页)

→水洗→干燥→胶带包封→退钝化膜→水洗→活化→水洗→浸银→水洗→镀银→水洗→剥离胶带→水洗→热水烫洗→干燥→浸涂防变色液。

2.2 黑色环氧底漆绝缘局部镀

这种方法操作简单,适用于各种形状零件的批量生产。镀后界限分明,黑白相衬,零件的外观效果非常好。该方法采用在非镀面上喷涂1层黑色环氧底漆的办法实现遮挡,再将其置于电镀溶液中镀银。

工艺流程如下:零件化学除油→水洗→酸洗→水洗→钝化→水洗→干燥→喷漆→烘烤→退钝化膜→水洗→活化→水洗→预镀银→镀银→水洗→热水烫洗→干燥→刷涂防变色液。

2.3 流化涂覆层绝缘局部镀

该方法是对零件导电面之外的非镀表面进行流化涂覆处理。电镀时,该流化层既可起到挡卡具的作用,又具有一定的绝缘性能,从构成产品的复合绝缘结构确保产品绝缘水平达标。

工艺流程如下:零件化学除油→水洗→酸洗→水洗→钝化→水洗→干燥→流化涂覆→退钝化膜→水洗→活化→水洗→预镀银→镀银→水洗→热水烫洗→干燥→刷涂防变色液。

2.4 局部刷镀银

电刷镀是一种无镀槽的电镀方式,运用各种镀笔可以在任何你想电镀的表面上电镀,所以是一种可靠的局部电镀方式。我厂经常有3~5m的超长母线中间多个搭接点需要镀银处理,若按包封法电镀,不仅需要特制的镀槽,而且胶带的使用量大,成本高。应用电刷镀可以轻松解决这个问题。若母排后续要求套热缩管,刷镀时只需对搭接面进行刷镀银,非镀面无须进行绝缘胶带的缠绕保护;若母排无其它后续加工工序,刷镀时仅仅需要对距离搭接面边界线20~30mm处的表面进行绝缘胶带的缠绕保护处理,使得镀面与非镀面界线清晰,表面整洁。

该方法的操作要点是:1)刷镀的电压控制在2~4V之间;2)与母线呈垂直搭接的镀笔的长度与预镀母线的宽度之比应大于或等于1,从而保证镀层的均匀性和光亮度。

工艺流程如下:母排化学除油→水洗→酸洗→水洗→钝化→水洗→干燥→退钝化膜→水洗→活化→水洗→刷镀银→水洗→热水烫洗→干燥→刷涂防变色液。

该方法的缺点是效率低、生产周期长,只适用于个别零部件

的修补和作为当采用其它方法有困难时的替代方法。

3 局部镀银、局部保护技术的技术攻关

3.1 黑色环氧底漆绝缘局部镀

为了让产品更加美观流畅,我们对产品导电类零件的颜色搭配进行了研究。镀银件采用黑白衬托,也就是搭接面镀银,非搭接面喷涂黑色环氧底漆。零件喷涂前需用挡卡具对预镀表面进行防护。进行技术攻关的项目有:1)严格控制喷漆作业,确保漆层具有良好的光泽和柔韧性的措施研究;2)电镀之前对预镀表面上喷溅的漆点进行彻底清理的方法与工具;3)建立退钝化膜的酸浓度控制经验数据库,确保黑色漆膜在浸酸之后无明显变化。

3.2 流化涂覆层绝缘局部镀

进行技术攻关的项目有:1)流化作业时,挡卡具密封可靠性实施措施及检查,流化后彻底清理预镀面上的零星流化层的方法与工具;2)建立退钝化膜时酸的浓度控制经验数据库,确保流化层浸酸之后色泽无明显变化;3)局部镀银与流化处理先后顺序的工艺研究与探索。最初,我厂先局部镀银,然后,进行流化处理,结果零件的银层质量得不到保证,此外,生产周期长,无法满足生产需求。考虑到流化层属于环氧树脂类,本身具有绝缘性能,而且耐一定浓度的酸碱,可以作为镀银时的绝缘防护层。于是将零件的加工工艺调整为先流化后镀银。经多次试验,该工艺完全可行。流化层的耐压能力无明显下降,镀银层的质量大大提高;同时生产周期缩短,能满足生产进度要求。

局部镀银、局部保护技术已成功地应用于生产,经过我们开发的局部镀银工艺获得了工厂2004年科技进步一等奖。

4 结 论

对不同规格和不同(弯曲)形状的母线类导电零件,因地制宜采取不同的局部镀银技术和手段是开关电器行业发展的必然趋势。多年来,我单位对各种规格、不同部位需要镀银的母线类导电零件广泛、持续地采用局部镀银工艺,取得了显著效果。

[参 考 文 献]

- [1] 肖冰,李军念,陈秦,等. 国外军用伪装网技术的现状及发展趋势[J]. 四川兵工学报,2003,24(5):64-66
- [2] 朱立群,古璟. 薄型多层雷达吸波材料结构设计与发展[J]. 表面技术,2007,36(3):49-52
- [3] 杨世荣. 反雷达隐身和雷达反隐身的物理原理[J]. 工科物理,1995,(3):27-30
- [4] Shelby R A, Smith D R, Schultz S. Experimental verification of a negative index of refraction[J]. Science,2001,292:77
- [5] 段改丽,李爱玲,李军. 隐身技术的物理原理及其应用[J]. 现代物理知识,2005,16(1):37-38
- [6] 胡传析. 隐身涂层技术[M]. 北京:化学工业出版社,2004. 183-342

(上接第76页)

接在一起,然后将拼接好的整个草丛网用特定的扣固定在1张标准的支撑底网(6.8m×6.8m)上面,然后在支撑网下面安1个骨架网,配备一些相应的附件,如挂钩等。最终组装成一个标准的伪装网(6.8m×6.8m)。

4 结 论

采用草型三维结构的伪装网,可实现在与平板结构相同涂层的情况下,达到更好的吸波效果,雷达吸波带宽可达16GHz,最大可以达到30GHz。同时草型伪装网表面可实现可见光及近红外隐身兼容。作为一种有效的隐身伪装器材,将向着轻型化、多频谱化、一体化等方向发展,同时也在其结构尺寸、外形、作战机动性及其环境适应性上不断加以改进,最终到达“薄、轻、宽、强”的伪装隐身伪装网。