

双马树脂/E玻纤复合材料在雷达罩上的应用

韦生文 鞠金山

(中国电子科技集团 38 所, 230031)

摘 要 介绍以双马树脂为基体、E 玻璃纤维为增强体的复合材料的优异性能及其在雷达天线罩中的应用及价值。

关键词 雷达罩, 树脂基体, BMI, E 玻璃纤维, 低介电损耗

The Application of BMI/ E - fibre Glass Composites in the Radar Antenna Radome

Wei Shengwen Ju Jinshan

(Cetc38, hefei, 230031)

ABSTRACT In this article, we introduce the excellent performance of the composites that uses the BMI resin as the matrix and the E - fiber glass as the reinforced plastic. Their application in the radar antenna radome is also listed.

KEYWORDS Radar radome, Matrix, BMI, E - fiber glass, low dielectric consumption.

1 前 言

随着现代科学日新月异地发展,雷达的运用日益广泛。无论是飞机、轮船,还是导弹、航海,雷达无处不在。有雷达,当然也需要雷达罩。雷达罩的作用是在雷达天线的周围形成一个封闭的空间,以保护雷达天线系统免受大气环境的直接作用。天线罩还可以缓解因气温骤变、太阳辐射、潮湿、盐雾等对天线系统的影响,因此也大大简化和减轻了天线系统的日常维护,延长了雷达的使用寿命。

目前使用的雷达罩是由增强材料和树脂基体经一定工艺过程复合而成。鉴于雷达罩的成型工艺及其复杂的工作环境,人们对雷达罩树脂基体和增强材料提出了越来越高的要求,主要表现在更高的耐热性、耐湿热性,更好的力学性能。对于雷达天线罩来说,优异的介电性能(主要指介电损耗正切 $\tan\delta$ 和介电常数 ϵ)和优良的力学性质是比较重要的几个参数指标。

2 双马来酰亚胺/E玻纤复合材料

2.1 双马来酰亚胺(BMI)树脂

双马来酰亚胺(BMI)树脂是近年开发的耐高温基体树脂。BMI 单体最突出的优点是其均聚物具有突出的耐热性、绝缘性与良好的耐辐照性和阻燃性,非常适合雷达天线罩的使用特性。但 BMI 单体存在着工艺性差(熔点高,溶解性差,制得的预浸料僵

硬,无粘性,固化温度高等),所以必须对 BMI 进行改性。

因为环氧树脂的工艺性能较好,故用环氧树脂改性 BMI 是被采用较多的改性方法^[1]。它不仅可改进树脂的工艺性,同时也能提高树脂的韧性。适当的调整组分的配比和控制预聚条件,由环氧/二胺/BMI 可制得溶于丙酮的树脂,用树脂的丙酮溶液制得的预浸料有良好的粘性和铺贴性,从而降低了制造雷达天线罩的工艺难度。

下面是几种热固性树脂基体的典型性比较^[2]。

表 1 几种热固性树脂基体的典型性能比较

名称	弯曲强度 (MPa)	弯曲模量 (GPa)	介电常数 (10GHz)	正切损耗 (10GHz)	耐热温度 (℃)	密度 (g/cm ³)
环氧树脂	97	3.8	3.0	0.020	150	1.30
酚醛树脂	92	3.5	3.2	0.020	180	1.30
BMI 树脂	150	3.7	3.0	0.014	150	1.30

制造雷达罩的树脂基体不仅要具有低的正切损耗特征,同时要求强度、模量、韧性和耐环境特性与结构复合材料相一致。正切损耗值是表征雷达罩材料介电性能的主要参数,其值越小,电磁波在介质中传输的能量损耗越小,雷达罩的透波率越高。通过表 1 可以看出 BMI 树脂的正切损耗是比较低的,且其他力学等性能也比较优越,所以用改性的 BMI 作为雷达天线罩的树脂基体是比较理想的。

2.2 玻璃纤维增强体

对有透波要求的雷达天线罩材料,增强体不仅要有力学性能上的要求,其电性能(介电常数、正切损耗)也要有较高的要求。在透波复合材料中最早使用的是 E 玻璃纤维,后来又有特种玻璃纤维,指高强度玻璃纤维(S-glass)、高模量玻璃纤维(M-glass)和低介电玻璃纤维(D-glass)^[3]。

表 2 几种玻纤的典型性能

玻璃品种	密度 (g/cm ³)	拉伸强度 (MPa)	弹性模量 (GPa)	介电常数 (10GHz)	正切损耗 (10GHz)
E 玻纤	2.54	3140	73.0	6.13	0.0055
S 玻纤	2.49	4020	82.9	5.21	0.0068
M 玻纤	2.77	3700	91.6	7.00	0.0039
D 玻纤	2.10	2000	48.0	4.00	0.0026
石英玻纤	2.20	1700	72.0	3.78	0.0002

仅从雷达罩的透波性能来说,D 玻纤和石英纤维(国外有用来做雷达罩的)因为有较低的介电常数和正切损耗,是比较理想的纤维增强体。但从经济价值上,石英纤维的价格要比 E 玻璃纤维高几十倍,而且从表 2 可以看出 D 玻纤和石英玻纤的力学性能(拉伸强度、弹性模量)与其他几种相比较要差许多。

E 玻璃纤维因为具有良好的电绝缘性能和介电性能,其主要用途是在电气工业中作为各种电绝缘材料、印刷线路板、雷达透波材料等,且从成本、力学强度和电性能等方面综合考虑,E 玻纤具有特殊优点。

目前,国内常用的以 4501B 双马树脂和 E 玻纤制造的复合材料典型性能见表 3 所示^[4]:

表 3 4501BBMI 树脂/E 玻纤复合材料的典型性能

弯曲强度 (MPa)	弯曲模量 (GPa)	介电常数 (10GHz)	正切损耗 (10GHz)	耐热温度 (℃)	密度 (g/cm ³)
420	24	4.05	0.014	180	1.78

从表 3 的介电常数和正切损耗值来看,用 E 玻纤和双马树脂制成的复合材料基本可以满足一般雷达天线罩的性能要求。但要实现高性能雷达罩的技术指标,需从双马/E 玻纤复合材料的含胶量的控制、铺层的设计、厚度上加以严格的控制。

3 天线罩性能影响因素

3.1 含胶量

3.1.1 含胶量对力学性能的影响

雷达天线罩对电性能有苛刻的要求,对其力学

强度也有一定的要求。由于增强纤维的强度和模量远比树脂要高,所以树脂含胶量对复合材料力学性能的影响是较大的。一般来说,复合材料中纤维含量越大,强度越大,在理论上应尽可能的提高纤维含量,但实际上树脂含量过低时,会造成分层、脱胶等界面破坏现象。图 1、图 2 是环氧树脂/碳布复合材料的含胶量对其力学性能(拉伸强度、压缩强度)的影响^[5],虽然由不同增强材料和树脂体系制成的复合材料,最佳树脂含量并不一定相同,但其结果对织物复合材料的工艺研究是有参考价值的。(树脂含量为质量百分含量)

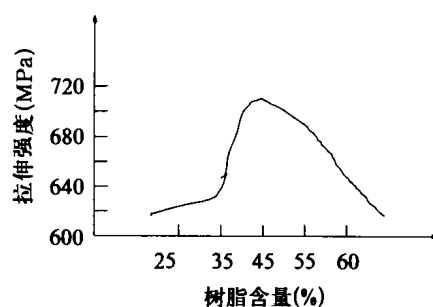


图 1 树脂含量对环氧树脂/碳布拉伸强度的影响

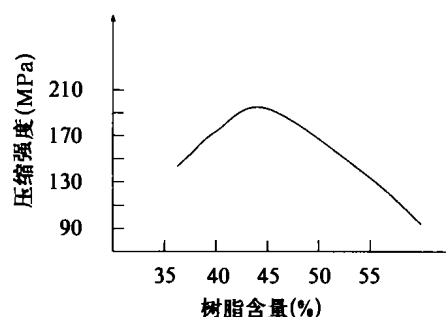


图 2 树脂含量对环氧树脂/碳布压缩强度的影响

从图 1 和图 2 可以看出,实际的工艺树脂含量控制在 42~45% 是比较理想的。

3.1.2 含胶量对透波性能的影响

不同的材料配比,不仅使天线罩复合材料的力学性能发生显著变化,更重要的是影响天线罩的透波性能。根据介电常数的对数混合法则计算复合材料天线罩的介电常数 ϵ_c 。

$$\ln \epsilon_c = v_1 \ln \epsilon_1 + v_2 \ln \epsilon_2 \quad (1)$$

ϵ_1 、 ϵ_2 分别是树脂和纤维的介电常数

$$v_1 + v_2 = 1 \quad (2)$$

v_1 、 v_2 分别为树脂和增强纤维的体积百分比

$$\ln \epsilon_c = (1 - v_1) \ln \epsilon_2 + v_1 \ln \epsilon_1 \quad (3)$$

$$\ln \epsilon_c = \ln \epsilon_2 - v_1 (\ln \epsilon_2 - \ln \epsilon_1) \quad (4)$$

从表 1 和表 2 可以得出,纤维的介电常数一般要大于树脂的介电常数,即 $\ln \epsilon_2 - \ln \epsilon_1 > 0$ 。

从④可以得出:当 v_1 大时, ϵ_c 相对就变小,所以

复合材料树脂含量高时,相对的介电常数就小,透波性能就好。但因为天线罩还有结构强度的要求,树脂含量不能过高。均衡两方面因素,45%左右的树脂含量是比较合适的。

雷达罩中使用的双马树脂/E 玻纤复合材料的含胶量一般应控制在 42% ~ 48% 之间,胶液要充分浸润玻璃纤维并分布均匀,若复合材料中出现富胶区和贫胶区,将对雷达罩的电性能和力学性能产生较大的影响。

4 双马树脂/E 玻纤复合材料在薄壁雷达天线罩中应用

雷达罩分为薄壁结构和夹芯结构,本文主要介绍的是双马树脂/E 玻纤复合材料在薄壁雷达天线罩中的应用。

4.1 薄壁雷达天线罩的厚度设计

在选择罩体厚度时,采用等效平板的计算方法。当电磁波射入平板透出时,均会在界面处发生反射。如果平板厚度 d 按下式选取^[6]:

$$d = n\lambda / [2(\epsilon - \sin^2\theta)^{1/2}]$$

式中: n - 整数, $n = 0, 1, 2, 3 \dots$;

ϵ - 平板介质的相对介电常数;

λ - 电磁波在自由空间的波长;

θ - 入射角,当电磁波垂直于平板时, $\theta = 0$, 此时 $d = n\lambda / (2\epsilon^{1/2})$ 。

雷达的波长 λ 是天线罩设计时应给定的数据,

双马/玻纤的 ϵ 也是可知的,从而可得出罩壁的厚度。

4.2 天线罩成型

天线罩的制造采用凸模成型、真空加压的方法,双马/玻纤预浸料采用逐层铺贴(注意各铺层方向和铺层厚度)、逐步升温的方法,让树脂基体流动充分,固化完全。

5 结 论

(1) 双马/E 玻纤复合材料的介电性能、力学性能以及耐热等性能可满足一般雷达天线罩的性能要求。

(2) 相对于双马/D 玻纤复合材料和双马/石英玻纤复合材料来说,双马/E 玻纤复合材料在电性能上要差一些,但电性能的差距可以通过一定的工艺措施加以改善,其综合性能则具有较大优越性,特别是从雷达天线罩制造成本角度考虑,双马/E 玻纤复合材料有着巨大的优势。

参 考 文 献

- 1 蓝立文.高性能复合材料基体双马来酞亚胺树脂的发展,见:复合材料进展.航空工业出版社,1994,66 ~ 67
- 2 赵渠森.先进复合材料手册.北京:机械工业出版社,2003:604 ~ 606
- 3 李 超,丘哲明,刘建超.树脂含量对碳布/环氧复合材料力学的影响.纤维复合材料,2003,(1),16
- 4 刘亚雄,晏石林.复合材料制品设计及应用.北京:化学工业出版社,2003,161 ~ 162

(上接第 44 页)

表 6 988 聚酯型无溶剂绝缘树脂性能指标

项 目	技术指标	测试标准
粘度(Pa·s)	0.30 ± 0.10	GB7193.1 - 87
胶凝时间(常温)(min)	20 ± 5	GB7193.6 - 87
工频电气强度 常态 23 ± 2℃浸水(MV/m)	≥ 50 ≥ 40	GB1408 - 89
体积电阻率 常态 23 ± 2℃浸水(Ω·m) 155 ± 2℃	≥ 1.0 × 10 ¹² ≥ 1.0 × 10 ¹⁰ ≥ 1.0 × 10 ⁸	GB1410 - 89
粘结强度(N)	≥ 90	GB/T15023 - 2000
热变形温度(℃)	85	GB1634 - 79
浇铸体拉伸强度(MPa)	≥ 220	GB1449 - 83
浇铸体弯曲强度(MPa)	≥ 290	GB1447 - 83
浇铸体冲击强度(kg·cm/cm ²)	≥ 190	GB1451 - 83
浇铸体 Barcol 硬度	≥ 35	GB3854 - 83

4 总 结

本文所介绍的系列绝缘树脂具有阻燃、高耐热、高介电强度、低温快速固化、低(无)毒,良好的机械性能和耐腐蚀性能,较好地满足人们迫切希望得到的更加稳定安全的绝缘产品,达到高绝缘、高耐热、无环境污染等情况,是新世纪理想的绝缘材料。

参 考 文 献

- 1 沈开猷.不饱和聚酯树脂及其应用.化工工业出版社,1988
- 2 周菊兴.不饱和聚酯树脂——生产及应用.化工工业出版社,2000
- 3 张显友,陈 伟.高压电器用耐 SF₆ 新型绝缘材料的研究进展.第七届绝缘材料学术会论文集,1999