

玻纤增强树脂基复合材料电磁兼容性能研究

杨世泽

(中国兵器工业集团人力资源部, 北京 100821)

摘要 根据对树脂基复合材料电磁兼容性能要求分析, 给出了树脂基复合材料电磁兼容设计中应该注意的几个问题; 通过金属网的优选、表面处理、结构性能表征及电磁屏蔽效能表征, 得出了电磁兼容复合材料的设计方法, 从试验研究可以得出, 采用金属网对复合材料进行改性, 可以满足复合材料的结构性能和电磁兼容性能的要求。

关键词 复合材料 结构性能 电磁兼容 金属网

树脂基复合材料以其高强度、防腐、阻燃、密度小等优点, 应用范围及用量正在逐渐扩大^[1-2]。在一些特殊的场合, 如武器装备上, 要求树脂基复合材料不但具有结构性能, 同时还要具有电磁兼容特性, 以满足一些特殊的使用要求。因此需要对树脂基复合材料进行优化设计, 使得复合材料既具有结构强度, 同时具有电磁兼容性能。电磁兼容复合材料的研究可以为我国武器装备提供一条有效的轻量化技术途径, 并可对武器装备电子元器件提供有效保护, 尽量降低被敌方探测的可能性。

对于某些应用, 电磁兼容复合材料应具有以下设计性能指标, 即力学性能为: 拉伸强度 ≥ 450 MPa, 拉伸弹性模量 ≥ 18 GPa, 弯曲强度 ≥ 450 MPa, 弯曲弹性模量 ≥ 18 GPa; 电磁兼容指标为: 7 ~ 8 GHz 波段电磁屏蔽效能为 30 dB, 其余波段电磁屏蔽效能为 25 dB。

1 实验部分

1.1 材料

氨基甲酸酯改性乙烯基酯树脂: 工业级, 金陵帝斯曼树脂有限公司;

溴化改性乙烯基酯树脂: 工业级, 晋纬化学工业有限公司;

玻纤经编织物: $\pm 45^\circ$, 圣戈班复合材料工程有限公司;

环烷酸钴: 工业级, 淄博市淄川鲁峰精细化工厂;

异丙苯过氧化氢: 工业级, 天津阿克苏过氧化物有限公司;

硅烷处理剂: KH-550, 南京曙光化工厂;

铜网、铁网、不锈钢网、铍镍合金网: 市售。

1.2 设备与仪器

100 t 压力成型机: YX-100 型, 上海伟力机械厂;

高压水切割机: DWJ-A-2 型, 南京大地水刀有限公司;

电子拉力试验机: SINTECH2/DL 型, 美国 MTS 公司;

动态材料试验机: Instron8032 型, 英国 Instron 公司。

1.3 试样制备

按照一定的玻纤质量分数(一般在 45% ~ 50%) 计算所需玻纤织物的层数, 将树脂、固化剂、引发剂按一定比例配制树脂混合液涂刷到玻纤织物上, 再在织物一侧或两侧铺上一层金属网, 然后放入 100 t 压力成型机上成型, 垫片厚度 3.5 mm, 在压力 5 ~ 10 MPa、温度 120 ~ 150℃ 下固化 60 min, 取出板材, 在高压水切割机上分别按照标准要求加工拉伸试样、弯曲试样。空白试样不加金属网。

1.4 性能测试

拉伸性能按 GB 1447-2000 测试;

弯曲性能按 GB 1449-2005 测试;

阻燃性能按 GB 2406-1993 测试;

电磁兼容性能表征采用频谱分析仪, 结合信号源和天线, 按 GB 12190-1990 测试, 测试示意图见图 1。

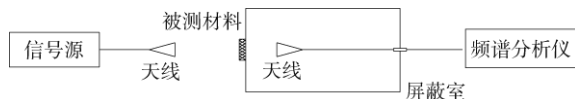


图 1 电磁屏蔽效能测试示意图

2 结果与讨论

2.1 复合材料的力学性能

在复合材料中引入相应的金属网, 金属网经过一定的表面处理, 复合材料的力学性能基本上不受影响, 表 1 列出各种复合材料的性能对比。

在复合材料中引入金属网, 由于金属表面和复

表 1 复合材料的力学性能和阻燃性能

项 目	配 方				
	0 [#]	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
拉伸强度 /MPa	521.0	515.8	522.6	518.5	523.1
拉伸弹性模量 /GPa	22.0	23.5	24.4	23.5	23.6
弯曲强度 /MPa	692.0	702.6	698.5	679.0	692.0
弯曲弹性模量 /GPa	22.3	24.3	23.1	23.7	22.9
氧指数 /%	28.5	29.4	28.7	30.1	29.6

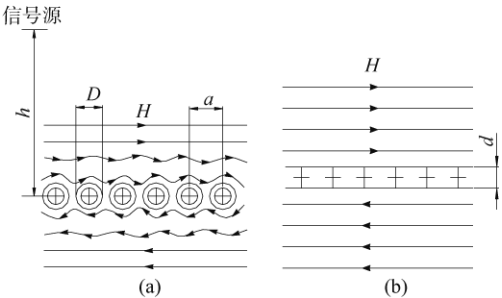
注:其中 0[#]为不加金属网,1[#]为加铜网,2[#]为加铁网,3[#]为加不锈钢网,4[#]为加镀铬合金网,金属网的孔径均为 49 μm(300 目)。

合材料之间存在界面效应,会影响金属网与树脂基体之间的粘接强度,因此,金属网一般要采用偶联剂处理^[3-6],以改善金属表面的界面性能,提高其与树脂基体的粘接强度,尤其像铜网、不锈钢网等惰性界面,表面处理更为重要。根据复合材料基体的性能,采用 KH-550 偶联剂对金属网表面进行处理。

由表 1 可以看出,金属网经过合适的界面处理,然后引入到复合材料中,复合材料的力学性能不会受到影响。

2.2 复合材料的电磁兼容性能

复合材料的电磁兼容性能有其理论基础^[7-9],设波垂直入射到屏蔽材料上,同时屏蔽表面任一点的场的矢量 E_1 ,平行于构成网的金属丝中的一群并垂直于另一群。与 E_1 垂直的金属丝影响甚微,可以忽略不计,与 E_1 平行的金属丝中有电流产生,这些电流的磁场在靠近金属丝处与沿密实屏蔽断面均匀分布的电流所产生的均匀磁场极不相同,如图 2 所示。



a—沿网屏蔽流动;b—沿密实屏蔽流动

图 2 沿屏蔽流动的电流磁场

图 2 中 H 为材料表面任一点的磁矢量, h 为信号源离网距离, a 为网格间距,由此可以假定,在表面效应可以忽略的频率范围内,金属网屏蔽等效于(当 $h \gg a$ 时)某密实屏蔽。沿该屏蔽一次场的磁矢量方向上,在单位长度内,应有像流经单位长度内所有全部金属网丝的电流一样的电流。对于密实屏蔽,该电流等于 $E_2 \cdot \sigma d$,其中 E_2 为靠近屏蔽的合成场矢量,也是穿透屏蔽的场矢量, σ 为材料电导率, d

为材料厚度;当 E_2 相同时,对于金属网,这一电流等于 $n E_2 \cdot /R^\circ$ 。因为 $n = 1/a$,所以用金属网制成的电磁兼容复合材料的 $T_{\text{网}}$ 可用下式求出:

$$T_{\text{网}} = 60 \pi / (R^\circ a) \tag{1}$$

式中: $T_{\text{网}}$ ——金属网的电磁屏蔽效能;

n ——单位长度内的金属丝数;

R° ——1 m 长单根金属丝的直流电阻。

对于一定的铜丝和不锈钢丝, R° 是恒定的,将铜网及不锈钢网的 R° 带入(1)式,优选出最佳的 a 值,可以计算出 $T_{\text{网}}$ 值。

从理论上说,采用金属网完全可以满足复合材料电磁屏蔽效能要求。采用不同的金属网制备电磁兼容复合材料,具有不同的电磁屏蔽效能,结果见表 2。

表 2 含相同孔径不同金属网的复合材料的电磁屏蔽效能 dB

频率 /GHz	配 方			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
7	26.8	28.6	31.9	35.1
8	30.5	35.4	39.0	43.6
10	31.8	35.6	39.8	45.8

注:1[#]为加铜网,2[#]为加铁网,3[#]为加不锈钢网,4[#]为加镀铬合金网,金属网的孔径均为 28 μm(500 目)。

从表 2 可以看出,采用不同的金属网制备的电磁兼容复合材料具有不同的电磁屏蔽效能,其中镀铬合金网复合材料 > 不锈钢网复合材料 > 铁网复合材料 > 铜网复合材料。

根据以上试验结果,对采用不同孔径不锈钢网制备的电磁兼容复合材料进行进一步的性能表征,研究了不锈钢网的孔径大小对电磁兼容性能的影响,结果见表 3。

表 3 不同孔径不锈钢网制备的复合材料的电磁屏蔽效能 dB

频率 /GHz	配 方			
	1 [#]	2 [#]	3 [#]	4 [#]
7	25.8	27.9	30.9	34.2
8	29.5	33.4	38.7	43.4
10	31.3	34.6	38.9	46.5

注:1[#]为 75 μm(200 目),2[#]为 49 μm(300 目),3[#]为 28 μm(500 目),4[#]为 17 μm(700 目)。

从表 3 可以看出,复合材料的电磁屏蔽效能随着不锈钢网孔径的减小而提高,该结果验证了电磁屏蔽理论公式的正确性。

在理论计算和试验研究的基础上,采用不锈钢网对复合材料进行了电磁兼容优化设计,并在中国航天科工集团第二研究院二 W 三所进行了全波段电磁屏蔽效能测试。电磁屏蔽效能试验结果见表 4。

从表 4 可以看出,采用单层和两层不锈钢网制

表 4 含不锈钢网的复合材料电磁屏蔽效能

频率 /GHz	屏蔽效能 /dB	
	1 [#]	2 [#]
1	32.1	52.0
2	42.8	48.3
3	32.8	44.7
4	36.9	43.2
5	21.5	39.1
6	23.8	27.9
7	31.9	31.2
8	39.0	43.2
9	34.9	43.9
10	28.5	35.1
11	31.9	36.5
12	33.0	38.0
13	39.5	45.5
14	45.9	45.4
15	36.7	47.7
16	40.3	44.2
17	44.3	48.2
18	55.6	48.5

注:1[#]为采用一层 17 μm(700 目) 不锈钢网,2[#]为采用 2 层 17 μm(700 目) 不锈钢网。

备的电磁兼容复合材料均能满足电磁兼容指标。

3 结论

(1) 经表面处理的金属网引入到复合材料中, 复合材料的结构强度不会受到影响。

(2) 采用不同的金属网制备的电磁兼容复合材料具有不同的电磁屏蔽效能, 其中铍镍合金网复合材料 > 不锈钢网复合材料 > 铁网复合材料 > 铜网复合材料。

(3) 复合材料的电磁屏蔽效能随着不锈钢网孔径的减小而提高。

(4) 采用不锈钢网制备的电磁兼容复合材料可以满足设计指标要求。

参考文献

[1] 周菊兴,董永祺. 不饱和聚酯树脂生产及其应用[M]. 北京: 化学工业出版社,2000.

[2] 黄学成,耿悦彬,方群英,等. 海外乙烯基酯树脂在 FRP 行业中的应用[J]. 玻璃钢,1999(1): 15-18.

[3] 陈友山. 乙烯基酯树脂性能与应用[J]. 环氧树脂应用技术, 1999(2): 33-34.

[4] 周润培, 蒯凌峰, 何颖. MFE 环氧乙烯基酯树脂固化性能研究[J]. 纤维复合材料,2003(2): 9-11.

[5] 黄发荣,焦扬声,郑安呐. 塑料工业手册——不饱和聚酯树脂[M]. 北京: 化学工业出版社,2000.

[6] 区英鸿. 塑料手册[M]. 北京: 兵器工业出版社,1991.

[7] 高攸纲. 屏蔽与接地[M]. 北京: 邮电大学出版社,2004.

[8] 沙皮罗. 接地技术[M]. 张瞰译. 北京: 国防工业出版社,1983.

[9] 荒木庸夫. 电磁干扰及防止措施[M]. 宋永林译. 北京: 计量出版社,1985.

STUDY ON ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY OF GLASS FIBER REINFORCED COMPOSITE

Yang Shize

(Human Resource Department, China North Industry Group Corporation, Beijing 100821, China)

ABSTRACT Based on the analysis of the electromagnetic compatibility of composite material. Several factors which should be considered in the designing of the composite were put forward. By chosing appropriate metal web, treating with the surface of the metal web, and testing the structure property and electromagnetic compatibility of the composite, the method of designing electromagnetic compatibility composite was achieved, the research result showed that the composite could meet the need of sturcture property, electro-magnetic compatibility by using metal web in the composite.

KEYWORDS composite, structure property, electromagnetic compatibility, metal web

欢迎订阅 2006 年《工程塑料应用》增刊

由中国机械工程学会、中国机械工程学会特种加工分会、全国快速成形技术学术委员会等单位主办, 华南理工大学等单位承办的“第四届全国快速成形与快速制造学术会议”于 2006 年 11 月在华南理工大学召开。应华南理工大学等承办单位的委托,《工程塑料应用》杂志社以 2006 年增刊形式编辑、出版了本次会议的论文专辑。该期刊物编入连续期刊号(总第 205 期),已于 11 月 20 日出版。该增刊共收录 39 篇优选会议论文,内容涉及快速成

形新工艺、新设备,快速成形软件与数据处理技术等,定价为 20 元/册。欢迎读者通过邮局或银行汇款订阅。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社 邮编:250031

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546