

三维正交机织复合材料的拉伸力学性能及介电性能研究

Study on Tensile and Dielectric Properties of
Three-dimensional Orthogonal
Woven Composites

姚 澜, 李文斌, 邱夷平
(东华大学 纺织学院, 上海 201620)
YAO Lan, LI Wen-bin, QIU Yi-ping
(College of Textiles, Donghua University, Shanghai 201620, China)

摘要: 三维纺织复合材料的发展越来越广泛, 其轻质, 抗分层等优点是层合板式复合材料无法比拟的。本工作对自行设计并制作的五种玻璃纤维芳纶纤维混合增强的环氧树脂复合材料的拉伸力学性能和介电性能进行了研究。结果表明纯芳纶结构的三维复合材料有着最高的比强度和比模量; 而在玻璃纤维含量较多的结构材料里介电性能呈现集中且稳定的趋势。在不同的应用中, 可以将不同纤维混合作为增强体以发挥各种纤维的优势和特点, 满足不同的设计和实际需要。

关键词: 三维复合材料; 比强度; 比模量; 介电性能; 混合结构
中图分类号: TM 332 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381(2007)02-0023-03

Abstract: Development of three-dimensional (3D) fiber composites overcomes the weaknesses of traditional laminated structures with in-plane and through-thickness dimensions are suitable for various industrial applications. The tensile and dielectric properties of 3D orthogonal woven aramid-glass fiber/epoxy composites have been investigated experimentally. Five different structures of the composites were designed with the different layer numbers of aramid and glass fiber in the preforms. The test results showed that the pure aramid/epoxy composite has the highest specific tensile strength and specific modulus. For the dielectric properties, the composites in which the more volume of glass fiber is included, the more constant the dielectric properties are. For the different applications, hybrid method of different fiber can exert different advantages of fibers.

Key words: 3D composite; specific tensile strength; specific modulus; dielectric property; hybrid structure

日新月异的科技变化对材料的要求越来越高, 各个领域尤其是航空领域的发展需要更轻薄型的复合材料作为结构件来减轻飞行器的负载。三维纺织复合材料以其轻质、抗分层、抗冲击及特殊的结构形式等优点弥补了层合式结构复合材料的缺点, 为复合材料领域的发展注入了新的活力。在三维纺织复合材料中, 三维正交机织复合材料发展较快, 其预制件在厚度方向上由一组纱线固定, 达到了整体不易破坏, 结构完整性好的目的^[1-3]。

三维纺织复合材料作为结构件出现同时, 国外许多研究工作者对其力学方面的性能进行了理论和实践方面的研究^[4-8]。而现今由于电子战、信号战、电子工业科技发展等的激烈竞争, 这些复合料被用于雷达整

机结构件、天线基片、电路基板, 飞机蒙皮材料时, 都需要考虑这种复合材料的介电性能的好坏。这是因为介电常数与信号的传输速度和信号的传输延迟时间有着密切的关系, 材料的介电常数越低, 信号的传输速度越快, 而传输的延迟时间也越短; 另外, 传输信号的能量损耗与材料的损耗角正切值成正比, 介电损耗角正切值太高, 会导致严重的能量损耗^[9]。所以从这一应用的角度来讲, 研究这种材料的介电性能是非常必要的。

本研究利用玻璃纤维和芳纶纤维作为三维复合材料的增强纤维, 从两者不同混和及其不同排列结构的角度设计出五种玻璃纤维—芳纶纤维增强环氧树脂复合材料, 并同时从拉伸力学性能和介电性能两方面对这五种结构进行了研究。

1 实验

1.1 实验材料

芳纶纤维是由荷兰 Akzo 公司生产的 Twaron1000, 规格为 110tex; 玻璃纤维是由中国巨石集团有限公司生产的 E 型 EDR14 300-778 系列玻纤, 规格为 300tex; 环氧树脂是上海树脂厂生产的 Epoxy618 和固化剂 Iminazole5510。

1.2 复合材料的制作

三维机织物是在东华大学本课题组自行设计的高效率三维正交织机上织造。五种不同三维织物均为八层, 结构示意图如图 1 所示, 具体分别为: 纯玻纤 (PGF), 两层玻纤/六层芳纶 (2GF), 四层玻纤/四层芳纶 (4GF), 六层玻纤/两层芳纶 (6GF) 和纯芳纶 (PAF), 在 PGF 结构中, z 方向的纱线由玻璃纤维构成, 其他四种结构中, z 方向的纱线均由芳纶纤维构成。复合材料的成型是采用真空辅助树脂转移法制作而成。固化条件为 80 固化 2h。

1.3 拉伸性能测试

拉伸测试依照 GB1040-79 进行, 测试仪器为 Instron Frame Model 3365, 拉伸速度为 2mm/min。对五种结构的复合材料分别测试, 对于每一种结构, 测量五个样品的经纬向拉伸性能, 最后取平均值。

1.4 介电性能测试

五种结构材料的介电性能测试是在 Agilent 4291B 1.8GHz 材料阻抗分析仪上进行的, 在测量前, 五种结构材料分别做成厚 3mm, 直径 20mm 的小圆柱。并把上下表面分别抛光成光滑表面, 样品预先干燥 24h。测量后得到五种结构材料在 1MHz~1GHz 频率范围内的介电常数和介电损耗角正切值。

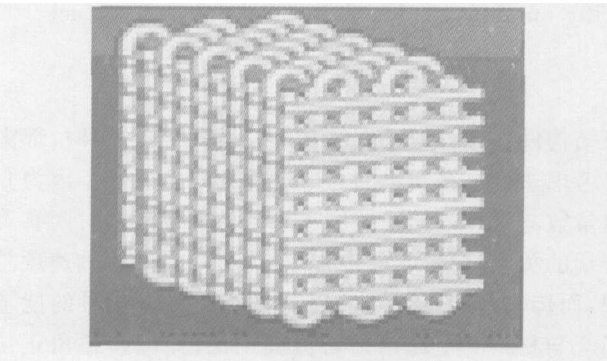


图 1 三维正交织物的结构示意图
Fig. 1 Schematic diagram of the three dimensional orthogonal fabrics

2 分析与讨论

2.1 拉伸性能测试结果

通过拉伸强力与密度的比值计算出五种结构的比

强度和比模量的结果。由图 2 和图 3 可以看到, 随着玻璃纤维含量的增加, 比强度和比模量呈显著的下降趋势, 纯芳纶复合材料有最高的比强度和比模量, 而纯玻璃纤维复合材料的值最低。在图 2 和图 3 中, 经向的比强度和比模量均低于纬向, 这是由于在织造过程中, 纬向纱线的喂入量是经向的 2 倍, 所以纬纱的体积分数是经纱的 2 倍所致。

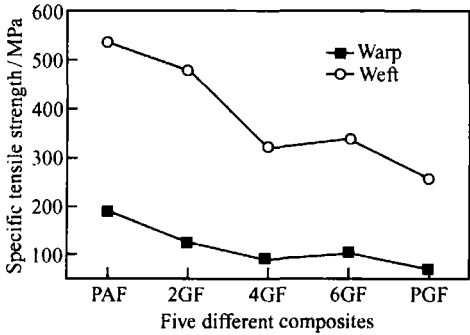


图 2 比强度与五种结构的关系曲线
Fig. 2 Specific tensile strength curves for five kinds of composite structures

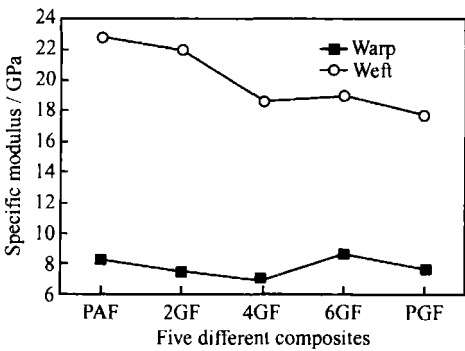


图 3 比模量与五种结构的关系曲线
Fig. 3 Specific modulus curves for five kinds of composite structures

2.2 介电性能测试结果

五种结构材料的介电常数和介电损耗角正切值随频率的变化如图 4 和图 5 所示。

在图 4 中, 可以看到介电常数随频率显著变化。在曲线开始阶段, 呈明显下降趋势, 这可能是由于机器误差造成的结果。在频率超过 70MHz 后, 曲线呈缓慢的下降趋势。玻璃纤维的介电常数比芳纶纤维大, 而介电损耗比芳纶小。所以在玻璃纤维含量越高的材料中, 介电常数应该越大, 但从图 4 中所示, 介电常数并不完全随着玻璃纤维含量的变化呈现有规律的变化趋势, 这说明, 介电常数并不只随着纤维体积分数的变化, 而可能与复合材料中纤维的分布情况有着密切关系, 纤维的分布会影响电场分布, 从而影响介电常

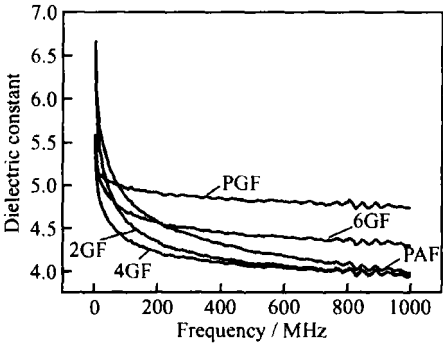


图 4 不同频率下五种结构的介电常数曲线
Fig. 4 Dielectric constant-frequency curves
for five kinds of composite structures

数的大小。而在图 5 中,对于介电损耗角的正切值与频率的关系中,结果却显示了随着结构中玻璃纤维含量的不同,呈现出非常有规律的结果,即介电损耗角正切值完全随着玻璃纤维的增多而减少。图 6 和图 7 所示为材料的介电常数和损耗角正切值与五种结构的变化曲线。可以明显看到,当玻璃纤维最多时,在 1, 10, 100MHz 和 1000MHz 四个频率下,材料的介电性能最接近最集中,曲线随着玻纤含量的增多,呈现更为稳定的分布。由此可见,芳纶纤维的介电常数对于频率的稳定性较差,而玻璃纤维却非常稳定。

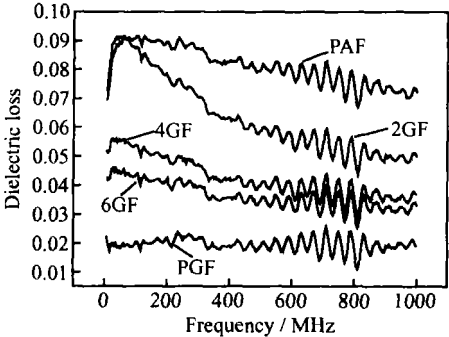


图 5 不同频率下五种结构的介电损耗角正切曲线
Fig. 5 Dielectric loss-frequency curves for five
kinds of composite structures

由以上的分析与讨论表明,在三维纺织复合材料的设计和和应用中可以采用不同的增强纤维,以发挥各自优点,本研究利用芳纶纤维的强力高,玻璃纤维的介电稳定的优点,制作的混合增强体,满足了兼顾力学性能和介电性能的应用要求。

三维增强复合材料在航空航天等领域的应用越来越广泛,目前国内对它的应用还不多,对其拉伸性能和介电性能研究,为这方面的研究可以提供一定的思路,并可设计更多种结构的材料,达到最优性能。为这种结构材料今后在航空电子,雷达等领域的应用发展奠

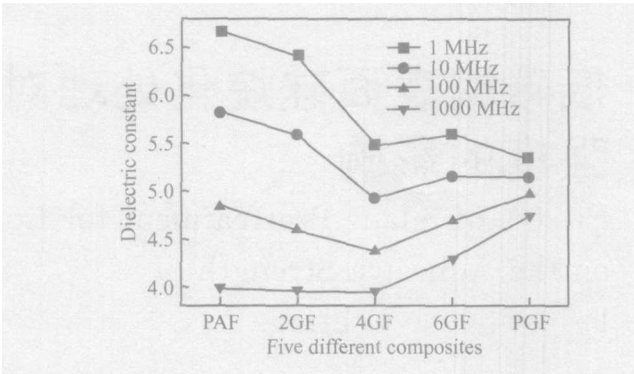


图 6 四种频率下介电常数与五种结构的关系曲线
Fig.6 Dielectric constant of four kinds of frequency
for five kinds of composite structures

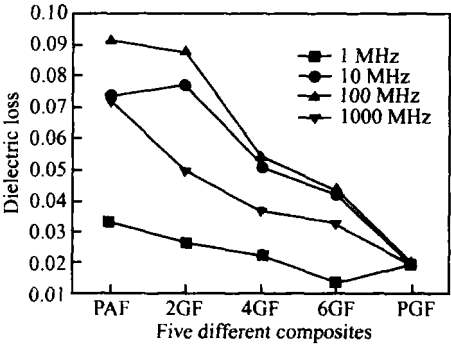


图 7 四种频率下介电损耗与五种结构的关系曲线
Fig. 7 Dielectric loss of four kinds of frequency
for five kinds of composite structures

定良好的理论和实践基础。

3 结论

(1) 本工作自行设计并制作完成五种不同结构的三维正交复合材料,五种不同结构的实现是通过设置不同层数的纤维来实现的。

(2) 对拉伸力学性能和介电性能进行了测试,结果表明,对于拉伸性能而言,五种结构的比强度和比模量随玻璃纤维含量变化而变化。纯芳纶结构的复合材料的比强度和比模量最高。

(3) 对于介电性能而言,介电常数不完全随着玻璃纤维含量的变化呈规律变化,而介电损耗角的正切值随玻璃纤维含量变化呈规律变化。此外,介电性能结果还表明,在不同频率下,含玻璃纤维较多的复合材料介电性能更趋近稳定,呈集中式分布,而含芳纶纤维较多的复合材料的介电性能不稳定。

参考文献

[1] CHIU C H, CHENG C C. Weaving method of 3d woven preforms
(下转第 29 页)

理结合力,又要提高涂层的化学结合力是解决难粘涂层结合强度的重要途径。基体表面经各种处理后的PE 涂层内聚破断形貌很不规则,至于其破断机理有待于进一步研究。

3 结论

(1) KH-560 可以显著提高 PE 涂层与基体的结合强度,比砂纸打磨、喷砂处理后的 PE 涂层结合强度分别提高了 40.3%,13.2%,涂层拉断形貌为内聚破裂;而 KH-550,KBM-7103 不能显著提高 PE 涂层的结合强度。

(2) PE 涂层结合强度随着 KH-560 硅烷溶液浓度的增大反而下降,原因在于硅烷溶液浓度的增大在基体上的物理吸附层过厚,形成了弱边界层;对于聚乙烯涂层的硅烷化处理,适宜的 KH-560 的浓度为 5% (体积分数),其水解时间为 48h。

(3) 喷砂+ KH-560 处理工艺既提高了涂层的物理结合力又提高了涂层的化学结合力,且经 20 次热震实验后涂层结合强度仅降低 10.9%,远低于其他处理方法热震后的下降幅度。

参考文献

[1] 刘亚康,赵汭凡,鲁建民. 聚乙烯粉末涂料的改性研究[J]. 涂料工业, 2003, 33(3): 6- 9.

[2] CHILD T, VAN OOIJ W J. Application of silane technology to prevent corrosion of metals and improve paint adhesion [J]. Trans IMF, 1999, 77(2): 64- 70.

[3] VAN OOIJ W J, CHILD T. Protecting metals with silane cou-

pling agents [J]. Chemtech, 1998, 28(2): 26- 35.

[4] 王雪明, 李爱菊, 李国丽, 等. 金属表面制备 KH-560 硅烷膜涂层的工艺研究[J]. 中国表面工程, 2004, 17(6): 27- 31.

[5] 王雪明, 李爱菊, 李国丽, 等. 金属表面 KH-560 硅烷膜的粘结性能研究[J]. 机械工程材料, 2005, 29(11): 8- 10.

[6] 吴人洁. 高聚物的表面与界面[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[7] ARKLES B. Tailoring surfaces with silanes [J]. ChemTech, 1977, (7): 766- 768.

[8] HARUN M K, LYON S B, MARSH J. A surface analytical study of functionalised mild steel for adhesion promotion of organic coatings [J]. Progress in Organic Coatings, 2003, 46(1): 21- 27.

[9] UIF BEXELL, MIKAEL OLSSON. Characterization of a non-organofunctional silane film deposited on Al, Zn and Al-43.4Zn-1.6Si alloy-coated steel: Part II. Interfacial characterization by ToF-SIMS and AES [J]. Surface and Interface Analysis, 2001, 31(3): 223- 231.

[10] ZHU Dan-qing, VAN OOIJ W J. Corrsion protection of metals by water-based silane mixtures of bis-[trimethoxysilylpropyl] amine and vinyltriacetoxysilane [J]. Progress in Organic Coating, 2004, 49(1): 42- 53.

[11] GU X H, XUE G, JIANG B C. Effect of deposition condition for -aminopropyltriethoxy silane on adhesion between copper and epoxy resins [J]. Applied Surface Science, 1997, 115(1): 66- 73.

基金项目: 山东省优秀中青年科学家科研奖励基金资助项目(9929)
收稿日期: 2006-04-13; 修订日期: 2006-07-12
作者简介: 王雪明(1977-), 男, 博士研究生, 现从事树脂基复合材料方面的研究, 联系地址: 北京航空航天大学材料学院 104 教研室(100083)。

(上接第 25 页)

for advanced composite materials[J]. Textile Research Journal, 2003, 73(1): 37- 41.

[2] NAIK N K, SRIDEVI E. An analytical method for thermoelastic analysis of 3d orthogonal interlock woven composites[J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2002, 21(7): 1149- 1191.

[3] AITHARAJU V R, AVERILL R C. Three dimensional properties of woven-fabric composites [J]. Composites Science and Technology, 1999, 59(12): 1901- 1911.

[4] RUDOV-CLARK S, MOURTIZ A P, LEE L, et al. Fibre damage in the manufacture of advanced three-dimensional woven composites[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 2003, 34(10): 963- 970.

[5] BAHEF-EH DIN Y A, ZIKRY M A, RAJENDRAN A M. Impact-induced deformation fields in 3d cellular woven composites[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 2003, 34(8): 765- 778.

[6] TAN P, TONG L Y, STEVEN G P, et al. Behavior of 3d or-

thogonal woven cfrp composites. part I. experimental investigation [J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 2000, 31(3): 259- 271.

[7] CALLUS P J, MOURITZ A P, BANNISTER M K, et al. Tensile properties and failure mechanisms of 3d woven Grp composites[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 1999, 30(11): 1277- 1287.

[8] COX B N, DADKHAH M S, MORRIS W L. On the tensile failure of 3d woven composites[J]. Composites Part A-Applied Science and Manufacturing, 1996, 27(6): 447- 458.

[9] 胡文成, 杨传仁, 龙继东, 等. 微波多层板基材的性能要求[J]. 材料导报, 2004, 18(12): 19- 21.

收稿日期: 2006-03-24; 修订日期: 2006-08-01
作者简介: 姚澜(1978-), 女, 博士研究生, 现从事三维纺织复合材料、功能材料等方面的研究, 联系地址: 上海东华大学纺织学院(201620)。