



表 1 不同碳纤维含量的 CF/GF/EP 的力学性能

项 目	碳纤维体积含量 <sup>1)</sup> /%				
	0	9	15	17	26
拉伸强度/MPa	183	324	344	392	569
拉伸弹性模量/GPa	3.9	7.0	11.1	13.3	16.7
冲击强度/kJ·m <sup>-2</sup>	243	227	143	104	101

注:1)相对于复合材料总体积。

$$E_H = E_c V_c + E_G V_G + E_R V_R$$

式中:  $E_H$  ——复合材料的拉伸弹性模量;

$E_c$  ——碳纤维的拉伸弹性模量;

$E_G$  ——玻璃纤维的拉伸弹性模量;

$E_R$  ——树脂基体的拉伸弹性模量;

$V_c$  ——碳纤维的体积分数;

$V_G$  ——玻璃纤维的体积分数;

$V_R$  ——树脂基体的体积分数。

CF/GF/EP 的拉伸强度低于按照混合规则计算出的数值,且在碳纤维体积分数大于其临界体积分数的情况下,拉伸强度随碳纤维含量增加而增加。即 CF/GF/EP 的拉伸强度首先随  $V_c$  增加而降低,到达某一临界  $V_c$  值后,又随  $V_c$  增加而增加。由表 1 可知,夹芯完全相同的 CF/GF/EP 夹层复合材料的力学性能,也呈现类似的变化规律。由于碳纤维具有高强度、高模量、脆性大的特点,随表层碳纤维含量的增加,拉伸强度和拉伸弹性模量显著增加,而冲击强度则显著降低。即少量 CF 的加入明显提高了 GF/EP 的拉伸强度和拉伸弹性模量。由于夹芯部分中与单向 CF 同向的 GF 比例很少,可以认为  $V_c$  为 15% 或 9% 时,已超过了碳纤维的临界体积值,从而使拉伸强度表现为单一方向的增加。

### 2.3 CF 铺设角度对 CF/GF/EP 力学性能的影响

在 MR 玻璃纤维芯层表面,各对称铺置四层碳纤维无纬布。三种不同铺层结构的 CF/GF/EP 的力学性能见表 2。

对于单向纤维复合材料而言,其破坏形式主要有两种:一种是纤维的破坏,纤维大量断裂或屈曲;一种是由于横向应力(主要是拉应力)和纵向剪切应力引起的沿纤维方向在基体和界面上的破坏。二者中前者的破坏强度比后者强得多,故第二种破坏形

表 2 CF 铺层结构对 CF/GF/EP 力学性能的影响

项 目	四层 CF 铺层角度/(°)		
	0/0/0/0	0/-45/45/0	0/90/90/0
CF 含量/%	26	22	28
拉伸强度/MPa	569	313	329
拉伸弹性模量/GPa	16.7	8.30	8.88
冲击强度/kJ·m <sup>-2</sup>	101	162	66

式起控制作用<sup>[3]</sup>。单向纤维复合材料的实际结构部件不能采用单向铺层的形式,因为偶然的、不大的外力就足以使构件在纵向产生开裂,造成破坏和失效。因此采用适当的多向铺层,如正交铺层和角铺层等是必要的。混杂纤维复合材料与此类似,当把碳纤维和玻璃纤维相互平行放置时将完全由碳纤维承担负荷;如果以不同的角度铺放,就能起到碳纤维和玻璃纤维性能相互弥补的良好效果。由表 2 可以看出,CF/GF/EP 中表层碳纤维的铺层方向对材料性能影响很大,中间二层 CF 取 45° 或 90° 方向时,其纵向拉伸强度、拉伸弹性模量与 0° 方向相比,变化较小,但 CF 可使这两个方向的性能得到平衡。在实际应用中,可以通过设计适当的铺层组合,来满足不同的使用条件和要求,其中受力大的方向要有较大比例的铺层。

### 3 结论

(1) 在玻璃纤维为 MR 型夹芯,CF 为表层的混杂纤维复合材料 CF/GF/EP 中,少量 CF 的加入可显著提高 GF/EP 的拉伸强度和拉伸弹性模量。

(2) CF/GF/EP 中碳纤维的铺层方向对材料性能影响很大,单向排列可以增强复合材料在单一方向的性能,而以不同角度铺放可平衡不同方向的性能。

### 参 考 文 献

- 毛卫杰.中温固化环氧树脂基体及其在复合材料钓鱼杆上的应用.玻璃钢/复合材料,1999(2):23
- 李家驹,等.先进复合材料四人皮艇及其整体刚度测定.玻璃钢/复合材料,1997(5):3
- Mei S, et al. Hybrid fiber-reinforced plastic laminates. JP 07 01 625
- Nakamura T, et al. Composite plastic for easy bending. JP 06 297 632
- Moto N, et al. Design of intelligent structures containing CFGFRP composites with selfdiagnosing function for fracture. Trans Mater Soc Jpn, 1994, t5A :685

## THE MECHANICAL PROPERTIES OF CF/GF/EPOXY COMPOSITES

Zhao Shigui, Xi Jianren, Chen Guowen

(College of Materials Science and Engineering, Shandong University of Technology, Jinan 250061)

**ABSTRACT** The hybrid fiber reinforced composites —— CF/GF/EP were prepared and its tensile strength and impact strength had been tested. It is showed that the contents and orientation of continuous non-woven CF are important to the mechanical properties of CF/GF/EPOXY composites.

**KEYWORDS** carbon fiber, glass fiber, hybrid, mechanical properties