

# AS4 碳纤维及复合材料

## AS4 Carbon Fiber & Its Composites

北京航空材料研究所 唐邦铭

Tang Bangming (Institute of Aeronautical Materials, Beijing)

**[摘要]** 对美国 Hercules 公司的 AS4 碳纤维的常规性能及其环氧复合材料性能进行了研究, 认为 AS4 性能基本上与国内应用较广的 T300 碳纤维性能相当。有较大的推广使用价值。

**关键词:** AS4 碳纤维 T300 碳纤维 性能

**[Abstract]** The general properties of AS4 carbon fiber and its epoxy composites are discussed. Compared with T300 carbon fiber, it can be concluded that the properties of AS4 are usually as the same as T300 on the whole. AS4 carbon fibers can also be widely used.

**Keywords:** AS4 carbon fiber T300 carbon fiber properties

### 1 前言

目前国内复合材料行业普遍采用的是日本 Toray 公司出产的 T300 碳纤维。对美国 Hercules 公司出产的 AS4 碳纤维研究较少, 应用也很有限。其实 Hercules 公司的 AS4 碳纤维在欧洲及北美地区应用十分广泛。据报道<sup>[1]</sup>, 欧美最大的 23 家飞机制造厂商和空军的 44 种机型中, 有 30 种已采用 AS4 系列碳纤维复合材料部件, 余下的 14 种中尚有 5 种正在试用。对 AS4 碳纤维的性能进行评价, 对在国内更广泛地推广应用 AS4 碳纤维有较大的意义。国内航空器上应用最多的复合材料树脂基体是环氧树脂, 本文采用较为常用的 4211 环氧树脂作为 AS4 碳纤维复合材料的基体, 对其常规力学性能进行研究且与 T300 碳纤维相同基体复合材料的性能进行对比, 从而表明 AS4 碳纤维的性能水平。

### 2 实验

#### 2.1 原材料

碳纤维 AS4C-GP-3K 美国 Hercules 公司  
树脂基 4211 环氧树脂 北京航空材料研究所

#### 2.2 板材固化

按文献 [2] 推荐的热压罐成形工艺执行。

#### 2.3 性能测试

碳纤维性能及复合材料力学性能均按国标 GB 测定, 预浸料性能按 Q/6S 测定。

### 3 结果与讨论

#### 3.1 AS4 碳纤维基本性能

##### 3.1.1 物理性能

纤维基本物理性能测试结果列于表 1。表 1 中 AS4 参照值为 Hercules 公司技术资料提供的数据, T300 参照值 1 为 Toray 公司技术资料提供的数据, T300 参照值 2 为文献 [3] 提供的实测典型值。

表 1 AS4 碳纤维基本物理性能

项 目	AS4 碳纤维		T300 系列碳纤维	
	AS4 实测值	AS4 参照值	T300 参照值 1	T300 参照值 2
纤维根数	3000±20	3000	3000	3000
纤维原丝直径, μ	6.44*	7	7	7.6
纤维密度, g/cm <sup>3</sup>	1.784	1.77	1.75	1.77
线密度, g/1000m	198	196	198	—
丝束截面积, mm <sup>2</sup>	0.11	0.11	0.11	—
纤维截面形状	圆形		有凹陷的圆形	

\* : σ=0.17, Cv=2.7%

表 1 中原丝直径的数据离散系数小, 表明 AS4 纤维原丝是较均匀的。丝束中原丝根数为 3000±20, 变动为 0.8% 左右, 说明 AS4 纤维的集束较均匀。AS4 的各项物理性能与报道值较相符, 且同 T300 相近。

实测 AS4 碳纤维原丝截面形状为圆形, 但众所周

知，T300 纤维的形状是有凹陷的圆形，这使得 T300 碳纤维在与树脂结合时更为有利。

3.1.2 纤维的力学性能

AS4 的主要力学性能实测结果见表 2。表 2 中 AS4 参照值、T300 参照值 1，2 等与表 1 相同。

表 2 AS4 碳纤维的力学性能

项 目	AS4 碳纤维		T300 碳纤维	
	AS4 实测值	AS4 参照值	T300 参照值 1	T300 参照值 2
拉伸强度, MPa	3408	3860	3530	3528
拉伸模量, GPa	233.5	262	230	221
拉伸极限应变, %	1.57	1.6	1.58	1.58

总体上，AS4 及 T300 碳纤维的力学性能水平按英国 Leslie N Philips 分类均属于 II 类 XA 型高强纤维，其极限应变、模量、强度分别在 1.5~2.0%、220~240GPa、3400~4500MPa 之间<sup>[4]</sup>。

表 2 表明，AS4 及 T300 的实测值均较厂商的报道值略低。一般厂商报道的技术数据为较高的典型值。AS4 与 T300 比较，前者的拉伸强度略低（约低 3.5%），模量略高（约高 5%），极限应变则相当。总之，AS4 碳纤维与 T300 碳纤维在纤维力学性能上是相近的。

3.2 AS4/4211 预浸料性能

AS4 与 4211 环氧用溶液法制造单向预浸料，其性能见表 3。AS4 纤维是上浆纤维，纤维在预浸料缠绕过程中无飞毛及断纱出现，制成的预浸料外观平整，树脂含量均匀，凝胶时间、流动度、挥发物含量等均能达到要求的范围，粘性合格符合使用要求，说明 AS4/4211 预浸料制造过程并无需特殊设备和过程控制要求，与 T300 碳纤维类似。两者在预浸料的加工过程中具有相同的工艺适应性。

表 3 AS4/4211 预浸料性能

项 目	AS4/4211	T300/4211
外观	均匀，平整	均匀，平整
单位面积纤维重量, g/m <sup>2</sup>	129.8	130±5
树脂含量, %	37.4	36~43
凝胶时间, s (150℃)	65	40~90
流动度, %	20	10~25
粘性	合格	合格
挥发物含量, %	1.4	≥2

3.3 AS4/4211 复合材料板材力学性能

AS4/4211 预浸料按要求在热压罐中成型试验板材，测试力学性能。其结果列于表 4。

表 4 AS4/4211 复合材料力学性能

项目	AS4/4211 实测值			T300/4211 文献值 <sup>[3]</sup>		
	X	σ	Cv%	X	σ	Cv%
纵向拉伸强度, MPa	1274	115	9.0	1415	161	11
纵向拉伸模量, GPa	145	3.1	2.1	126	4.6	4
纵向泊松比	0.314	0.008	2.5	0.33	0.02	5
横向拉伸强度, MPa	32.9	5.02	15.3	25.0	9.27	26
横向拉伸模量, GPa	8.8	0.06	0.5	8.0	0.5	6.0
纵向压缩强度, MPa	1110	18.2	1.6	1232	140	12
纵向压缩模量, GPa	136	3.5	2.6	116	4.9	4.0
横向压缩强度, MPa	136	11.6	8.5	157	31.5	20
横向压缩模量, GPa	10.4	0.36	3.5	8.34	0.85	10
纵横剪切强度, MPa	59.2	0.26	0.43	63.9	11.3	18
纵横剪切模量, GPa	5.45	0.24	4.5	3.7	0.21	5.6
弯曲强度, MPa	1550	54.0	3.5	1590	78	4.7
弯曲模量, GPa	132	1.8	1.4	120	3.7	3.1
层间剪切强度, MPa	77.2	5.5	7.1	82.6	6.2	7.5

注：AS4/4211 纤维体积含量 64±3%；T300/4211 纤维体积含量 60±3%；空隙率均小于 2%

由表 4 可见，AS4/4211 复合材料的模量均较 T300/4211 略高（为 T300 的 1.1~1.47）。由于一方面 AS4 碳纤维的模量较 T300 略高（表 2，233.5 与 221GPa），另一方面 AS4/4211 实测性能板材的纤维体积含量略高于 T300/4211 复合材料（分别为 64±3% 与 60±3%）。

纵、横向拉压、纵横剪切及弯曲（拉、压、剪的组合）一般粗略地符合模量混合法则，即：

$$E_x = V_f E_f + V_m E_m \tag{1}$$

$$E_x = \frac{E_f E_m}{V_f E_m + V_m E_f} \tag{2}$$

(1)、(2) 式中：E<sub>f</sub>，E<sub>m</sub>，V<sub>f</sub>，V<sub>m</sub> 分别为纤维模量，树脂模量，纤维体积含量，树脂体积含量。由于 E<sub>f</sub> 远较 E<sub>m</sub> 大，易知 V<sub>f</sub> 及 E<sub>f</sub> 的增加都会导致 E<sub>x</sub> 增大。即 AS4 纤维模量比 T300 略大以及板材纤维体积含量偏大都会使复合材料的模量略大于 T300 复合材料的模量。因此，AS4/4211 复合材料的纤维体积含量与 T300 较一致时，二者的模量会更加接近。

由于 AS4 碳纤维的强度较 T300 的略低（表 2），因  
(下转第 35 页)

