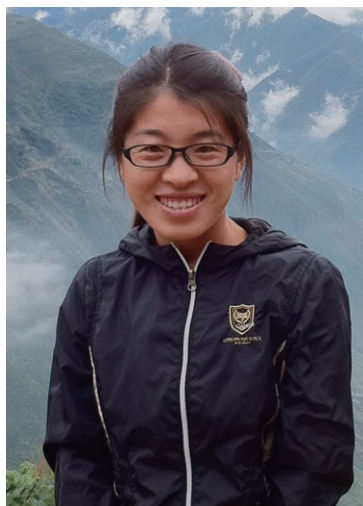


# 复合材料胶接技术的发展与应用

## Development and Application of Composites Adhesive Bonding Technology

中航通用飞机设计研究院 李春威



李春威

工程师,现就职于中航通用飞机设计研究院,主要负责通用飞机结构设计选材工作、标准化工作。

本着“为减轻每一克质量而奋斗”的理念,越来越多的高性能轻质材料(复合材料)应用在飞机结构中,而胶粘剂也因为其结构轻、连接效率高等优点现在逐渐成为飞机设计制造中不可或缺的部分。

与各向同性的金属材料相比,各向异性的复合材料经过切割或机械加工时会受到严重损伤和弱化,其层间剪切变得更敏感。因此,胶接比机

我国低空领域的开放,为民用飞机提供了很大的发展空间,而研制新型高性能民用飞机也离不开复合材料和结构胶粘剂的使用,因此研制高性能耐久结构胶粘剂也是一种新的挑战。

械连接更广泛地应用于先进复合材料的连接设计中,特别对于单向的复合材料,不允许出现应力集中的现象,胶接为高载荷提供了有效方法<sup>[1]</sup>。在高性能的航空复合材料制件的制造过程中,复合材料预固化后对制件进行胶接装配通常是必要的,通常采用热固性胶膜对这些基材进行二次胶接<sup>[2]</sup>。复合材料修补通常也可属于胶接范围。还有未固化的预浸料蒙皮采用胶膜与各种各样的蜂窝进行胶接,即共固化胶接<sup>[3]</sup>。

### 结构胶粘剂

#### 1 结构胶粘剂的概念

结构胶粘剂(简称结构胶),按ASTM的定义是能在预定时间内,在使用环境中能承受相当的力,并具有与被粘物相匹配的强度和耐久的使用寿命<sup>[4]</sup>。结构胶粘剂一般以热固

性树脂为基料,以热塑性树脂或弹性体为增韧剂,配以固化剂等组成,有的还加有填料、溶剂、稀释剂、偶连剂、固化促进剂、抑制腐蚀剂和抗热氧化剂等。结构胶粘剂的特点在于不论用于什么粘接部位,均能承受一定的应力,并具有较好的不均匀扯离强度和疲劳强度。胶粘剂的粘接强度主要取决于胶粘剂本身的内聚力及胶粘剂与被粘接材料之间的粘附力。

#### 2 结构胶粘剂的种类

结构胶粘剂的品种繁多,从不同角度对胶粘剂有不同的分类。胶粘剂可按形态分为膜状、带状、液状、糊状等;可按固化温度分为中温固化结构胶、高温固化结构胶和室温固化结构胶;也可按化学成分分为改性环氧、改性酚醛、聚酰氨胺等;还可按使用特性分为板-板胶、面板胶、

芯条胶、发泡胶等。

### 复合材料胶接技术在航空领域中的应用与发展

从20世纪80年代起,先进复合材料已在航空领域得到了广泛的应用,胶接结构在国内外航空复合材料结构件上的应用日益增多。A310全复合材料垂尾主接头由外接头、内接头和蒙皮及加强层共固化胶接在一起;波音737平尾大梁是主要的承力件,采用的是T300/5208材料,腹板由两个预固化的槽形件背靠背的胶接在一起;Lear Fan 2100全复合材料小飞机,机身蒙皮与骨架、蒙皮与蒙皮之间采用的是胶接连接;Y7-200B腹鳍蒙皮与隔板是用T00/HD-03制成的全复合材料构件,它的蒙皮和隔板是单独制造的,采用J-47A胶粘剂胶接在一起;Y7-200A进气道采用碳-玻璃纤维混杂复合材料结构,唇口与进气道及上、下部之间采用AF163-2L.03胶膜胶接的;Y-7FC垂尾壁板蒙皮与“T”形长桁之间采用AF163-2L.03胶膜,用二次

胶接进行连接;DC-10垂尾墙的J加筋与蒙皮采用J116胶膜胶接在一起,墙的J加筋与腹板用胶液连接<sup>[5]</sup>。

表1、表2分别列出几种典型国内外复合材料胶粘剂及其基本性能。

### 结构胶粘剂在某型号通用飞机上的应用

本文以某型号5座单喷涡桨通用飞机为原型机,介绍一下结构胶粘剂在原型机上的具体应用。此款飞机的整机结构除了机翼主起加强肋

和一些连接结构件为金属材料外,其余全为复合材料结构件。飞机的机体结构主要采用碳纤维复合材料蜂窝夹层结构。各零部件的连接方式以胶接为主。下面主要介绍一下结构胶粘剂在此款飞机上的应用部位。

(1)后机身内有两个加强框,由上下两个碳纤维复合材料件与蒙皮及垂直安定面后梁胶接组成,垂直安定面内部有一个翼梁,采用碳纤维复合材料蜂窝夹层结构,采用胶接与蒙皮连接,如图1、图2所示。

表1 国外典型航空结构胶粘剂

公司	牌号	固化温度 / °C	剪切强度 (室温) / MPa	剥离强度 / (N/25.4mm)	应用机种及部件
Hexcel	Redux312	120	42	245	金属板 / 板、板 / 芯、复合材料粘接
Cytec	FM1000	175	34	—	金属板 / 板、板 / 芯、复合材料粘接
	FM73	120	35	245	金属板 / 板、板 / 芯、复合材料粘接
3M	AF163-2	107	35	245	板芯粘接
	AF126	82	24.1	55.6mN/m	—
	EA9330.1	室温	34.5	156	—
Henkel	EA9360	室温	34.5	133	—
	EA9696	107~129	43.4	179	金属板 / 板、板 / 芯粘接

表2 国内飞机常用结构胶

名称	使用温度 / °C	主要技术指标				对应国外胶粘剂牌号	应用部位
		剪切强度 / Mpa		剥离强度 / (N·cm <sup>-1</sup> )			
		室温	高温	90° 板板	90° 板芯		
J-47A 板板胶	长期: -180~100 短期: -180~120	A膜 ≥ 28	≥ 18(100°C)	≥ 60		—	直-8、运-12 机座舱地板、壁板蜂窝夹层结构; 运-7 腹鳍
J-47B 底胶		B+C ≥ 24	≥ 15(100°C)	—	≥ 40		
J-47C 板芯胶							
J-47D 发泡胶		D管剪 ≥ 4	≥ 3(100°C)	膨胀比 2~3	抗压强度 MPa ≥ 15		
J-95 胶膜	—	≥ 33	≥ 21(70°C)	≥ 60	≥ 60	Meltbond111306 胶	直-9、直-11 等直升机的座舱、行李舱、壁板、地板
J-96 底胶 (与 J-95 配合使用)		≥ 33	≥ 23(70°C)	≥ 60	≥ 60	6726 底胶	
J-97 发泡胶带		≥ 4.5	≥ 2.5(80°C)	膨胀比 1.5 ~ 2.5	—	Redux212	
自力-2	-88~-55	≥ 30	≥ 15(80°C)	≥ 80	—	—	直-8 旋翼整体地板 机身壁板
SY-14	—	≥ 29.4	≥ 17.7 (150°C)	≥ 59	≥ 44	—	歼击机副翼、襟翼、平尾、方向舵

(2) 中机身与后机身采用胶接的方式进行连接。

(3) 复合材料翼肋与前缘翼肋均和翼梁用胶接方式连接,机翼蒙皮壁板采用碳纤维复合材料泡沫夹层结构,上下蒙皮和翼梁及翼肋之间均采用胶接方式连接,如图 3 所示。

(4) 襟翼由襟翼外形蒙皮和两个端肋胶接而成,如图 4 所示。

(5) 副翼由副翼外形蒙皮和两个端肋胶接而成。

(6) 水平安定面由上下蒙皮与翼梁采用二次胶接形成整体结构,升降舵蒙皮采用碳纤维与蜂窝夹层结构,端肋采用碳纤维复合材料层压结构件,梁、蒙皮和端肋采用二次胶接成一个整体,如图 5 所示。

(7) 方向舵左右两侧蒙皮、加强盒采用二次胶接成一个整体。

(8) 升降舵梁、蒙皮和端肋采用二次胶接成一个整体。

此款飞机主要使用的结胶粘剂有 Henkel 公司的 EA9696、EA9360、EA9394 产品,其中 EA9696 主要用于芯材和蒙皮之间的粘接,EA9360

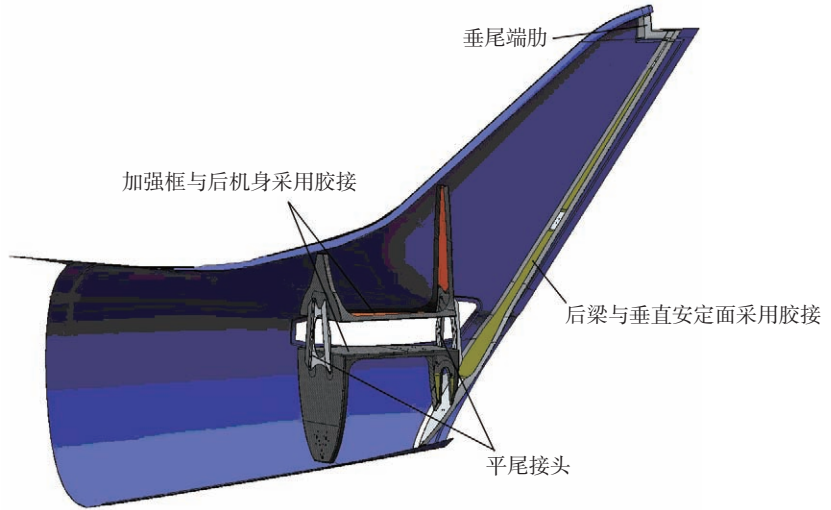


图2 后机身内部胶接示意图

主要用于复合材料件与复合材料件之间的粘接,EA9394 主要是用于金属材料与复合材料之间的粘接。

### 使用胶接结构的必然性

飞机结构设计的研究和发展一直与采用性能优越的新材料密切相关。在传统飞机的制造过程中需要大量铆钉将金属板连接起来(一架小型飞机需要上万个铆钉),现代复合

材料结构飞机,若采用胶接代替铆接,可使飞机质量减轻 20%、强度提高 30%<sup>[6]</sup>,而减轻结构重量对现代飞行器具有特殊重要的意义。

近年来随着复合材料在飞机结构中的大量应用和发展,胶接技术作为复合材料制造的重要配套技术,也必将相辅相成随之发展。某些小型公务机采用全复合材料结构,而胶接是复合材料结构主要的连接方法。

胶接的主要特点:

(1) 胶粘剂与基体通常是同一种材料体系,因而能够保证材料间的相容性;

(2) 胶接可以防止腐蚀,在连接的同时还可以形成密封,而且比紧固件连接的接头的重量轻;

(3) 胶接区域面积大,分布的应力较小,且不需制孔,不会引起复合材料分层破坏,接头的强度较高;

(4) 胶接不同于焊接受材料品种及厚度限制,而且不同材料间连接无电偶腐蚀,从而可以拓宽设计选材和降低成本;

(5) 胶接有阻止裂纹扩展的作用,破损安全性好,疲劳寿命强;



图1 后机身结构胶接示意图

(6)胶接能获得光滑的气动外形。

近年来在国际大飞机项目研究中,胶粘剂的地位举足轻重,主要作用有:

(1)具有粘接飞机零部件的作用;

(2)具有良好的使用性能(如优异的加工性能、良好的热性能、优良的粘接性能、低密度、抗老化性能优异和环境定性好等)。因此,胶接结构取代传统连接方式是一种必然趋势,对提高产品性能、减轻结构重量、简化制造工艺和降低费用等具有明显的作用<sup>[7]</sup>。

### 复合材料胶接技术展望

优良的航空结构胶粘剂仍是21世纪制造先进战斗机和民用飞机不可缺少的重要材料。随着复合材料在飞机结构中的应用不断扩大,国内外航空用结构胶的应用日趋广泛,新一代复合材料飞机制造技术的发展又对胶接技术提出了更高的要求:

(1)发展复合材料胶接表面处理新技术。复合材料胶接表面处理现仍处于原始的技术水平,不能满足复合材料高性能胶接的要求,国外正在试验的等离子喷涂、紫外线辐射、火焰处理等新技术距实际应用尚远;

(2)降低结构胶粘剂的固化温度、简化固化工艺。有些胶粘剂虽性能优异,但存在着韧性差、固化温度高、固化工艺繁琐等缺点,而现在工艺技术趋于操作简单方便的特点,因此需要研制中温或低温固化、性能优异的胶粘剂体系;

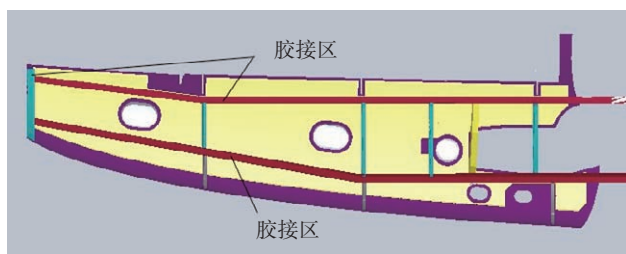


图3 机翼结构件间的胶接示意图



图4 襟翼外形蒙皮与端肋的连接示意图

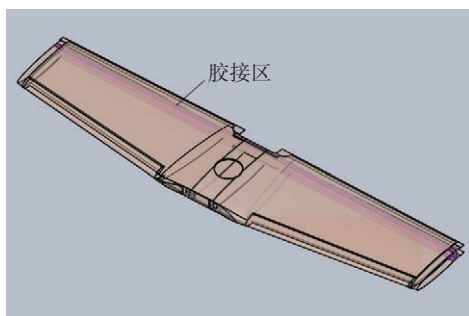


图5 水平安定面胶接结构示意图

(3)提高复合材料胶接件的质量检测方法。我国现代的胶粘剂体系,在生产过程中存在着质量稳定性差的缺点,而复合材料件胶接固化完成后又存在着受检测方法的制约,无法准确地检测出构件胶缝的胶接质量,因此需要建立相应完善的检验标准体系,并改进无损检测的方法。

(4)随着我国低空领域的开放,民用公务机将成为未来航空领域的研制方向,因此复合材料胶粘剂体系不但要满足各项工艺性能的要求,还要满足适航当局对胶接体系的要求。

随着这些问题的解决,我国复合材料胶接技术水平将有很大的提升。

我国低空领域的开放,为民用飞机提供了很大的发展空间,而研制新型高性能民用飞机也离不开复合材料和结构胶粘剂的使用,因此研制高性能耐久结构胶粘剂也是一种新的挑战。

### 参考文献

- [1] Chabot K A, Bonk R B. Evaluation of adhesives and primers systems for adhering carbon /epoxy composite s and metals. In: 25th international SAMPE technical conference, 1993: 338-352.
- [2] Tillman M S, Hayes B S, Seferis J C. Influence of substrate adhesive resin Compatibility on the fracture of composite bonds. In: 46th international SAMPE symposium, 2001: 8-19.
- [3] 乔海涛,邹贤武. 复合材料胶接技术的研究进展. 宇航材料工艺, 2010 (2):11-14.
- [4] 王致禄,赵颖,朱金华. 宇航结构胶的发展概况. 化学与粘合, 2009, 31(1):53-56.
- [5] 谢鸣九. 复合材料连接手册. 北京: 航空工业出版社, 1995.11.
- [6] 李欣,张晓妮,徐晓沐. 胶接结构和复合材料用于航空航天技术的发展. 化学与粘合, 2006, 28(3):172-175.
- [7] 段国晨,齐暑华,吴新明,等. 结构胶在航空工业中的研究现状及进展. 中国胶粘剂, 2009, 18(9):52-56.

(责编 小城)