

复合材料桁架胶接装配技术

刘良威 刘锦 李志慧 朱军

(上海卫星装备研究所,上海 200240)

文摘 叙述了某型号卫星碳纤维复合材料桁架胶接装配过程的配套条件、工艺方法和质量控制等内容。研究表明,杆件和接头的配合间隙介于0.1~0.3 mm时胶接强度较高;桁架的精度完全依靠高精度胶接工装保证,且最终精度能控制在0.2 mm之内;合适的工艺方法和质量控制方法,能够满足碳纤维桁架结构的高精度和胶接质量要求,并且这些方法具有通用性。

关键词 碳纤维,复合材料,卫星,桁架,装配,胶黏剂

Technology of Cementing and Assembling Composite Truss

Liu Liangwei Liu Jin Li Zhihui Zhu Jun

(Shanghai Institute of Spacecraft Equipment, Shanghai 200240)

Abstract This paper describes the supporting conditions, technology and quality control, etc, in the process of cementing and assembling truss of a certain model satellite which is made of carbon fiber composite. The research shows that the truss has higher bonding strength when fitting clearance of rods and joints is between 0.1 and 0.3 mm. The precision of truss is entirely depend on high-precision tooling, and ultimately precision can reach the accuracy of 0.2 mm. Appropriate technological process and quality control method can satisfy the high precision of the carbon fiber truss structure and cementing quality, and this method is also suitable for other products.

Key words Carbon fiber, Composite materials, Satellite, Truss, Assembly, Adhesive

0 引言

碳纤维复合材料具有比强度高、比模量高、可设计性强等优点,已成为当今航天产品中不可缺少的一种新型结构材料^[1-2]。

胶接,对于缺口敏感的碳纤维复合材料更加适合。随着胶接工艺技术的不断发展,现已成为航天工艺中的重要工艺技术^[3-4]。

碳纤维卫星桁架结构由碳纤维多通接头和碳纤维杆件(包括方杆和圆杆)胶接装配而成,见图1。

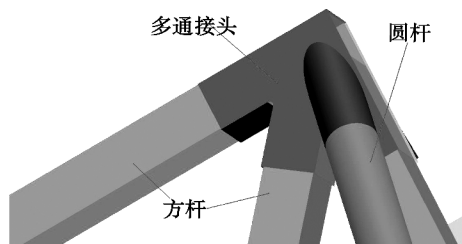


图1 碳纤维桁架的主要胶接装配形式

Fig.1 Main forms of cementing and assembling composite truss

1 主要条件

1.1 环境要求

环境条件主要包括温度、相对湿度和净化程度,这三个因素都会影响复合材料桁架的胶接质量。一般要求温度为 $(20\pm 5)^{\circ}\text{C}$,相对湿度为30%~60%,现场清洁。

1.2 材料

碳纤维杆件和接头,上海复合材料科技有限公司;PMR脱模剂(上海凯缘化工原材料有限公司);Araldite 420胶,Huntsman Advanced Materials公司;T300-3K碳布,日本东丽公司;补强销钉,自制。

1.3 仪器设备和工装

采用三坐标测量机(中航工业北京航空精密机械研究所,LM401530)测量桁架胶接工装和桁架的尺寸精度;采用电子秤(Metter Toledo,XP10002S)称重配胶;采用自制桁架胶接工装对桁架胶接固化过程进行定位(图2);采用电子万能材料试验机(SANS公

司, SASN-100kN) 按照标准 GB/T7124-2008 测试随炉试片的剪切强度; 采用超声波检测仪(汉威公司, HS Q6) 检测桁架的胶接缺陷。

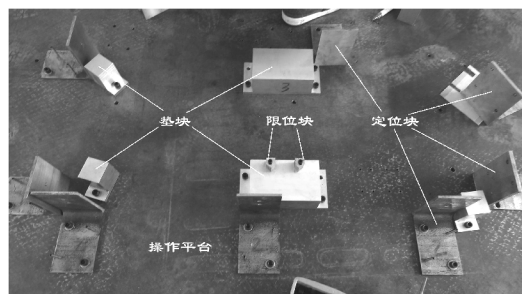


图2 桁架胶接装配定位工装

Fig. 2 Positioning equipment for cementing and assembling composite truss

2 胶接装配

2.1 胶接工艺程序

桁架胶接装配主要工艺流程如图3所示。

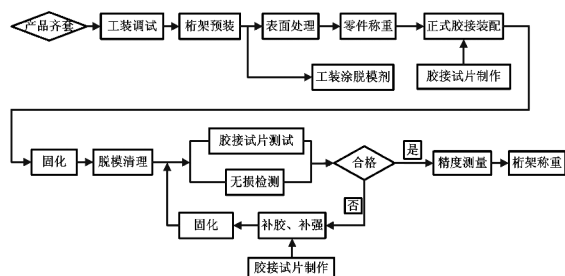


图3 胶接装配主要工艺流程图

Fig. 3 Main process flow diagram of cementing and assembling composite truss

2.2 工装调试和准备

通过三坐标测量仪测量调整工装的精度, 调整操作平台的平面度 $\leq 0.1\text{ mm}$, 所有垫块组成的平面度 $\leq 0.05\text{ mm}$, 定位工装同一定位面的组合平面度 $\leq 0.03\text{ mm}$, 相互平行的工装定位面的平行度 $\leq 0.05\text{ mm}$, 相互垂直的工装定位面的垂直度 $\leq 0.05\text{ mm}$ 。

在工装精度调整完成后, 在定位块与操作平台之间配打定位销钉, 以保证工装可重复拆装精度。在桁架正式胶接装配前用丙酮清洗胶接定位工装, 晾干, 然后在工装面上涂3~5遍PMR脱模剂, 每遍间隔10~15 min, 晾干24 h后使用。

2.3 桁架预装配

桁架结构一般由多通接头、方杆和圆杆组成, 相关研究表明, 当胶层厚度为0.1~0.3 mm时, 胶接强度效果达到最佳状态^[5]。预装配过程不能有强制装配现象, 同时必须严格控制零部件之间胶接配合部位的壁厚尺寸, 以保证产品的力学性能。

对于装配过程中配合间隙大于0.3 mm的配合, 可填充浸胶碳纤维布。对于装配过程中配合间隙过小的配合, 要对杆件和接头进行修配才能达到0.1~0.3 mm的配合间隙。对于装配过程中配合间隙过小的配合, 要对杆件和接头进行修配才能达到0.1~0.3 mm的配合间隙。

0.3 mm的配合间隙, 修配方法如下:

(1) 以修锉接头的榫头为主;

(2) 打磨方向应沿最外层碳纤维丝束方向, 避免跳丝和分层;

(3) 修锉应在专用场地, 避免粉尘污染, 并及时用吸尘器清除多余物;

(4) 胶接配合面应间隙均匀, 同时保证所有杆件能无强制力装入接头的榫头。

2.4 胶接前的表面处理

碳纤维零件在正式胶接装配前用2#砂纸打磨所有杆件和接头的胶接面, 然后用绸布蘸少量丙酮清洁胶接面2~3遍, 至无粉末, 放置洁净处晾干15 min以上。用丙酮清洁表面过程中要严格控制丙酮用量, 不得大剂量涂抹或浸泡复合材料, 以防止树脂和纤维的界面脱粘。

2.5 桁架正式胶接装配

(1) 将胶均匀涂抹在杆件和接头的胶接面, 保证涂抹胶层厚度均匀且不小于0.3 mm;

(2) 根据预先设计的装配顺序将各杆件与接头进行装配;

(3) 完全利用胶接工装进行定位, 擦拭溢胶;

(4) 注胶完成后, 用压板将接头处压紧固定, 进入固化阶段;

(5) 每次调胶需按《胶黏剂拉伸剪切强度测定方法》(GB/T 7124-2008) 制备随炉试验件5件, 并编号记录, 待固化完成后进行强度测试。

2.6 胶接固化工艺

桁架的胶接固化成型过程是在一定的温度、湿度和固化时间条件下胶黏剂充分交联, 使桁架的零部件固化成为具有一定强度、刚度的整体结构的过程。固化温度、湿度和时间的工艺参数选定主要取决于所选用的胶黏剂, 卫星桁架结构胶接装配过程主要使用常温固化胶黏剂, 室温固化5~7 d。

2.7 精度测量

桁架在固化、脱模后用三坐标测量机对其进行精度测量, 得到组合安装面的整体平面度为0.16 mm(设计指标 $\leq 0.20\text{ mm}$), 相互平行面的平行度为0.20 mm(设计指标 $\leq 0.30\text{ mm}$), 相互垂直面的垂直度为0.20 mm(设计指标 $\leq 0.30\text{ mm}$), 精度全部满足设计要求。

3 胶接质量控制

卫星桁架胶接装配质量控制的主要内容包括拉伸剪切强度测试、无损检测、胶层平均厚度统计计算等, 根据无损检测和随炉试片的测试结果, 对不满足要求的区域进行补胶或补强。

3.1 拉伸剪切试验

在桁架胶接装配过程中,根据《胶黏剂拉伸剪切强度测定方法》(GB/T7124-2008)试验方法同步制备碳纤维复合材料试验件,最真实地验证碳纤维桁架的胶接强度和胶接质量。拉伸剪切试验件和试验过程分别见图4和图5。

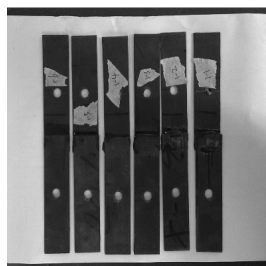


图4 拉伸剪切试验件

Fig.4 Specimen of tensile shear test



图5 拉伸剪切试验过程

Fig.5 The process of tensile shear test

3.2 无损检测

桁架胶接固化完成后,对其胶接部位进行超声波无损检测,主要检测接头和杆件的胶接部位是否有脱胶和分层等缺陷存在。

3.3 胶层平均厚度计算

胶含量过多会引起载荷舱质量增加,且胶层太厚反而会降低胶接强度;胶含量太少会导致缺胶,使强度降低^[5]。胶层厚度直接测量比较困难,可通过监测用胶量间接计算胶层的平均厚度。胶接过程中通过胶黏剂质量记录推算胶层的平均厚度是评价胶接质量的重要方法,计算公式如式(1)。

$$h = \frac{m}{\rho \times S} \quad (1)$$

式中: h 为胶层平均厚度, m 为胶黏剂的质量, ρ 为胶黏剂的密度, S 为胶接面积。

3.4 补胶和补强

3.4.1 补胶

根据无损检测的结果,对不满足《航天器桁架结构通用规范》(Q/RJ304-2010)质量等级规定的1类等级的胶接缺陷区域进行补胶,操作程序如下:

(1)在相应区域的中心钻 $\Phi 1$ mm注胶孔,深度以打穿外侧杆件壁为准;

(2)调配胶黏剂,用注射器将胶液缓慢注入孔内,用脱模布封堵注胶孔,防止溢胶;

(3)补胶区域需再次经无损检测,符合要求后方可进行下一步操作,不合格则需要再次补胶。

3.4.2 补强

为了提高桁架的强度,进一步增加可靠性,在胶接配合的接缝处用“销钉+碳布”的方式进行补强。

“销钉+碳布”补强主要操作方法是在胶接榫头位置钻孔,销钉涂胶后装入孔,外表采用2~4层T300或T700碳布沿轴向成45°夹角缠绕,如图6所示,补强宽度根据杆件大小50~100 mm不等,以拼缝处为中心,两边补强区域均布。补强销钉的位置尽量在胶接面的中心,圆杆沿圆周方向均布2~3个,方杆沿圆周方向均布3~4个。

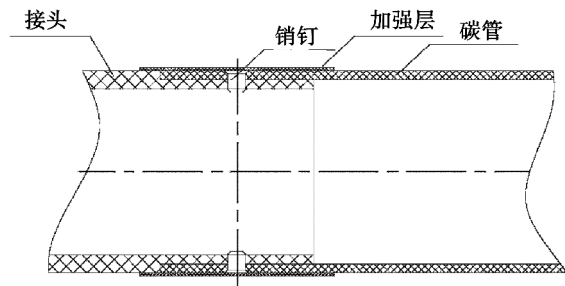


图6 补强示意图

Fig.6 Schematic diagram of reinforcing

4 结论

根据某型号卫星碳纤维复合材料桁架的特点,在广泛借鉴其它卫星桁架胶接工艺的基础上,对胶接装配过程的配套条件、主要工艺方法以及质量控制方法进行了详细地阐述,得到以下结论。

(1)复合材料桁架胶接装配的精度完全依靠高精度胶接工装保证,最终桁架的精度能控制在0.2mm之内;

(2)当杆件和接头的配合间隙为0.1~0.3 mm时,胶接强度最高;

(3)通过无损检测、随炉试片测试和补胶、补强等质量控制措施,可以保证桁架的胶接质量;

(4)桁架胶接装配的工艺方法和质量控制方法具有通用性,同样适用于其他碳纤维桁架的胶接装配。

参考文献

- [1] 王汝敏,等. 聚合物基复合材料及工艺[M]. 北京:科学技术出版社,2011:3-18
- [2] Tillman M S, Hayes B S, Seferis J C. Influence of substrate adhesive resin compatibility on the fracture of composite bonds[C]//46th international SAMPE symposium,2001:8-19
- [3] 沃西源. 复合材料胶接连接工艺[J]. 航天返回与遥感,1996,17(1):52
- [4] 乔海涛,邹贤武. 复合材料胶接技术的研究进展[J]. 宇航材料工艺,2010,40(2):11-14
- [5] 齐暑华,等. 胶黏剂与胶接技术[M]. 西安:西北工业大学出版社,2004:13-26

(编辑 吴坚)