

①21-22

飞机维修

金属结构修理

复合材料技术

V267.45

用复合材料技术修理金属飞机结构是当今一项比较新的修理技术,本文介绍了在我国首次进行的具有演示验证性质的一次修理实践。

# 用复合材料技术修理金属飞机结构的修理记实

## Repair Practice of Using Composite Technology for Aircraft Metal Structures

◎ 陈绍杰 / 沈阳飞机研究所

**用**复合材料技术修理金属飞机结构是一项比较新的机体结构修理技术,90年代已为世界各国普遍采用。该方法实质上是由复合材料结构胶接修理方法发展而来的,此时贴补的胶接补片不是贴在复合材料结构上而是贴在金属结构上。该方法特别适用于金属飞机结构的裂纹的腐蚀等多发性常见损伤,是目前世界上公认的一种优质、高效、低成本的修理方法。原《航空制造工程》杂志已对该项技术作过相应的报道。

### 任务来源

用复合材料技术修理金属飞机结构,虽然在国际上已是一项成熟的新技术,但在我国国内基本上还是一个空白。有鉴于此,以沈阳飞机制造公司(沈飞)为主,有沈阳飞机研究所参与与希腊的HAI(Hellenic Aerospace Industry)合作成立了“沈阳—Hellenic飞机修理公司”,拟从希腊引进该项技术,推广应用于国内的军、民机修理业务。HAI是希腊一家国家控股的国有大型飞机和发动机修理公司,始建于1975年,在欧洲同业者中占有较重要的技术地位。

沈阳—Hellenic飞机修理公司于1999年7月7日~9日在沈飞公司进

行了第一次采用该技术进行飞机修理,因为这是首次将该技术用于国内飞机的修理实践,故某种程度上带有演示验证的性质。修理材料、修理设备均由希方提供,操作亦由希方为主进行。修理方案和设计及则由双方合作进行。为此希方派来3名技术和操作人员完成了具体的修理工作。

### 待修结构及损伤情况

待修飞机结构是某型飞机的两个水平尾翼。该机是一架返厂大修的飞机。因该机长期在沿海使用,由环境条件造成多处腐蚀损伤,此次修理的具体对象为该机左右平尾翼尖接近配重处的腐蚀损伤,计有左尾下蒙皮、右平尾上、下蒙皮共3处,具体腐蚀性能

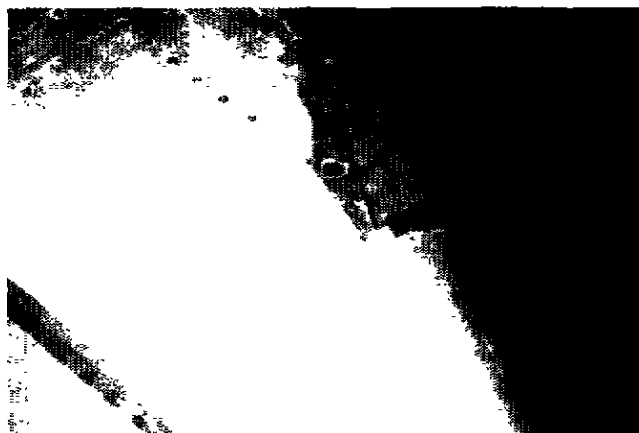


图1 右平尾上蒙皮腐蚀损失情况

详见表1。

图1给出了一张腐蚀情况的照片,该照片为打磨去除损伤后的情况,从照片上清晰可见损伤严重处的腐蚀深坑。

该机平尾主受力盒的壁板材料为LC9铝合金,相当于7075-T6,为高强铝合金。该部位除承受静载外,还有翼尖处

表1 待修部位腐蚀损伤情况

位置	腐蚀面积	腐蚀深度
左平尾上蒙皮	400mm × 200mm	0.1~0.25mm
右平尾上蒙皮	340mm × 300mm	0.3~0.4mm 局部0.6mm
右平尾下蒙皮	340mm × 300mm	0.2~0.3mm 局部0.5mm

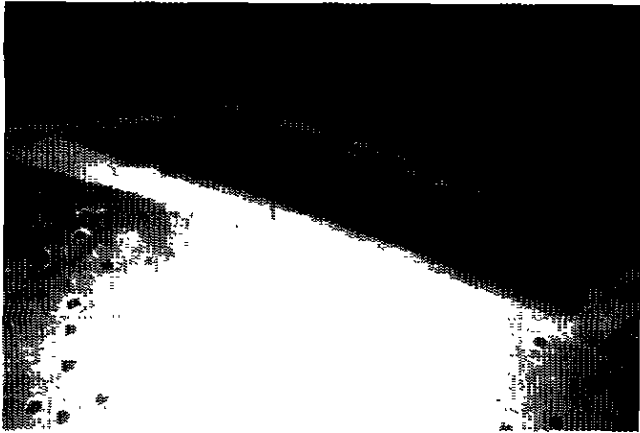


图2 完成修理的翼尖腐蚀区

连接配重的动载,在配重与平尾的连接处多次产生振动破坏,故此处的腐蚀破坏亦需修理加强。

## 修理实践

### 1. 材料体系

该项修理技术多用碳纤维增强复合材料,碳纤维复合材料强度和刚度都很高,与铝合金匹配热胀系数较接近,可减少固化后的残存应力,此外又便于采用涡流探伤进行无损检测,监控修后已覆盖住的裂纹等损伤的扩展情况。故此修理亦采用了碳纤维复合材料,纤维牌号为 Boron 5521,其主要力学性能如下:拉伸强度 3600MPa、拉伸模量 400GPa,压缩强度 6900MPa,比重  $2.57\text{g}/\text{cm}^3$ 。

形成的复合材料比重为  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ,铺层的单层厚度为  $0.127\text{mm}$ ,与碳纤维

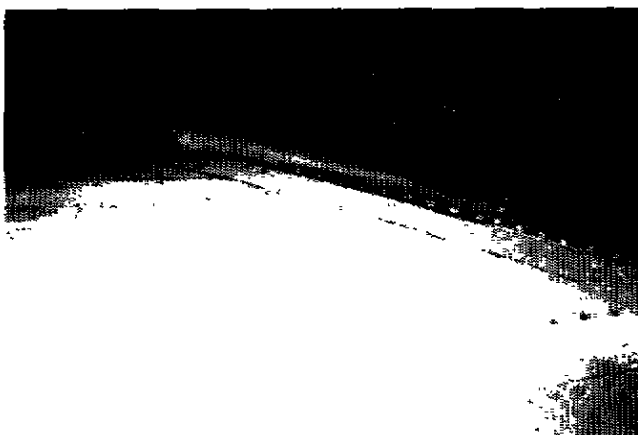


图3 玻璃布修复的受损表面

相比拉伸强度高,模量与压缩强度则有大幅度提高。树脂为韧性环氧树脂,胶膜为 FM73,为美国 CYTEC 公司的产品。

### 2. 修理过程

主要修理过程大致如下:清除损伤腐蚀区→表面处理→剪裁补片、铺贴→装袋,抽真空加温加压,固化→表面整饰。

因为此次待修损伤形式是腐蚀,故应清除原结构漆层和腐蚀区。采用细棒铣刀和砂纸打磨,最后用丙酮擦拭。待胶接表面的处理是本技术的关键环节之一,主要包括两个步骤,一是吹砂,二是涂偶联剂,其目的均是增加胶接强度。吹砂采用了简易吹砂设备,没有回收装置。用细白砂,连续吹约 10min 左右,吹后明显改变了待胶接表面的微观结构,吹后一小时内要涂刷硅烷偶联剂,连续不停涂刷约 15min,然后用电吹风干燥,约 20min。接着应是下料铺贴。

对修理设计,包括铺层数、铺层方向等双方事先进行了协商。此次由希方带来的是“B”阶段半固化预浸料,铺层为  $0^\circ$ 、 $90^\circ$  各两层,对称且为准各向同性板,因已是“B”阶段补片,现场就不宜再进行剪裁了。完成装袋后抽真空、加温固化、升温到  $120^\circ\text{C}$  固化 1 小时。装袋过程中要预置数量较多的热电偶来监控温度,此次共布置了 6 个热电偶,温度场的施加和监控是修理技术的又一个关键。因修金属结

构与修复复合材料结构不同,加热时热量极易传走,对加温固化很有影响,稍有不固固化不充分,整个修理就会失败。完成修理固化后,拆除装袋材料,然后应是涂底漆、面漆、完成表面整饰,这部分工作待飞机出厂前由沈飞完成。完成修理的结构如图 2 所示,这次修理是成功的。

由表 1 可见,左平尾下蒙皮腐蚀较浅,对原结构强度、刚度影响较小,故现场修理时采用了一种简易修理方法,即未用碳纤维复合材料,而是采用了两层玻璃纤维编织物;未采用高温固化而是采用了室温固化,表面只吹砂,未涂偶联剂,室温放置 24 小时即完成固化,整个操作约半小时,可有效地防止该处的进一步腐蚀。修后情况见图 3。

### 3. 存在问题

此次具有演示验证的修理过程中也存在一些问题。主要是希方未按我方事先的要求,带来固化的预浸料,而带来的是“B”阶段半固化的预浸料。这样在现场就难于进行剪裁了。原来设想腐蚀严重区可用 6~7 层补片为好,只要求铺层对称并不要求是准各向同性,但已不便更改,此外铺层递降台阶留得不对,亦不便更改,只好修后再打磨。另外装袋抽真空过程中存在一定问题,可能是对原结构蒙皮对缝和铆钉孔封堵不严等原因所致,致使抽真空时遇到一定困难,不得不采取补救措施。

用复合材料技术修理金属飞机结构是一项具有广阔前景的新型修理技术,不但可修使用中造成的损伤,亦可修生产过程中造成的损伤。可以修飞机,也能修舰艇、坦克乃至车辆,目前国外正在扩展这项技术的功能和应用范围。甚而目前国际上大规模开展的用复合材料技术修理建筑领域的基础设施结构,在原理和方法上与之亦有相通之处。有鉴于此,已组建成立的“沈阳—Hellenic 飞机修理公司”将进一步引进完善该项技术,置备必要的修理工具和设备,培训人员,正式开展应用此项技术的修理业务。

□