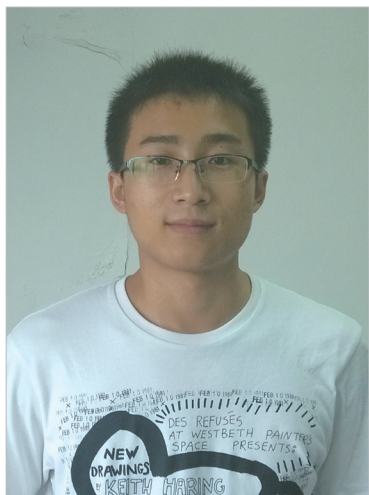


民用飞机胶接技术应用分析*

Survey of Adhesive Bonding Technology Development of Civil Aircraft

上海飞机制造有限公司 张新建 吴宏亮 陈洁
南京航空航天大学材料科学与技术学院 占小红 辜诚 魏艳红



张新建

工学硕士, 现任上海飞机制造有限公司助理研发工程师。从事材料加工、先进连接技术等领域研究, 目前承担C919工艺规范编制与维护工作, 发表论文多篇。

胶接是能提高机体结构效率和结构破损安全性能的先进连接技术。传统的飞机制造需要大量的铆钉将金属板进行连接, 而胶接结构质轻强度高, 还具有阻裂、减振、隔热、隔音等特殊作用, 一般来说用胶接代替铆接可使

胶接技术应用于民用飞机数十年以来, 应用范围和应用面积都呈增长趋势, 可以说当代任何一种先进飞机的设计和制造都离不开胶接技术的应用。我国无论是大型客机项目的研发还是低空领域的开放, 都为民用飞机提供了很大的发展空间, 而研制新型民用飞机也离不开胶接体系和胶接技术的应用, 研制高性能耐久胶接体系、开拓新材料胶接技术成为一种新的挑战!

重量减轻 25%, 成本下降约 20%。同时由于胶接是面积连接, 能避免机械连接的应力集中, 改善结构的抗疲劳性能和结构表面的气动特性^[1-3]。因此胶接技术的应用越来越广泛。

自从航空工业诞生以来, 胶接技术就开始应用于各类飞机结构的制造^[4]。早在 20 世纪初期飞机刚刚诞生时, 胶接技术就已应用于飞机木质机翼缘条的连接。1943 年, 英国更是第一次在“大黄蜂”飞机金属结构上应用了胶接技术。目前, 大型飞机如美国的 L-1011、波音 737、747、787、C-130、C-141A、KC-135, 欧洲的 A300、A320、A380, 俄罗斯的伊尔 76、86 等飞机在制造过程中, 都采用了胶接结构。可以说, 当代任何一种先进飞机的设计和制造都离不开胶

接技术的应用。本文综述了国内外民用飞机胶接技术的现状, 对民用飞机胶接技术的发展进行了展望。

国外民用飞机胶接技术现状

近年来, 飞机胶接技术在欧美一些飞机生产大国得到了长足的发展, 胶接体系的耐久性大幅度改善, 胶接工艺日益成熟, 胶接件的安全性、可靠性及耐久性大幅度提高^[5-8]。

20 世纪 70 年代, 美国组织实施了 PABST(主承力胶接结构技术) 计划。80 年代, 美国为实现制造过程自动化和提高胶接构件的可靠性, 又进行了计算机辅助固化过程控制、计算机辅助涂胶自动化方法以及自动化检验等关键技术的研究。钛合金的胶接也获得了实际应用, 例如, 美

* 国家商用飞机制造工程技术研究中心创新基金(SAMC13-JS-15-030)资助。

国洛克希德飞机公司的 L-1011 客机采用 FM-137 中温固化胶胶接钛合金止裂带与铝蒙皮,其阻止裂纹扩展能力提高了 1 倍以上。C-5A 飞机的钛蒙皮与玻璃布蜂窝的胶接也取得较好的效果^[9]。

欧洲从早期的 FOKKER-27 “友谊号” 客机、中期的“三叉戟” 客机、直至 1978 年投产的 BAe-146 客机,都在机翼及机身结构上广泛采用了钣金胶接结构,其应用的胶粘剂均为经过长期服役考验的酚醛型胶粘剂(如 Redux775 胶粘剂与 Redux120 底胶),图 1 为 BAe 146/AVRO RJ 系列喷气式支线客机机身壁板与上机翼蒙皮桁条的胶接结构,采用 Redux775 结构胶。随后,由于环氧系列胶粘剂的研制成功,表面处理技术的进步,胶接技术的应用迅速扩大^[9]。

不同胶粘剂室温机械性能如表 1 所示^[10]。胶接技术在国外民用客机制造中已获得广泛的应用。表 2 列出了采用胶接结构的民用飞机机种及部位^[11]。

在波音系列飞机中,从波音 707 到波音 787 的制造中,都有大量的胶接结构件服役,而且胶接面积呈逐步上升的趋势,如表 3 所示^[5,9,11]。

波音公司飞机制造过程中胶接部位如图 2 所示。最新型的波音 787 飞机上采用了纤维复合材料构件来替代传统的金属构件以减轻结构质量,不可避免地需要采用更多的胶接结构。可以预见,胶接技术在民用飞机的生产制造过程中的使用范围将越来越广,使用量也将越来越大。

国内民用飞机胶接技术现状

我国飞机胶接技术首先是在以军用飞机为研究和应用背景的基础上发展起来的^[12]。经过数十年发展,我国军用飞机采用的胶接体系和胶接技术已经接近世界先进水平,我国研发的 SY 系列、J 系列、JX 系列、DG 系列等胶粘剂体系均成功应用于各

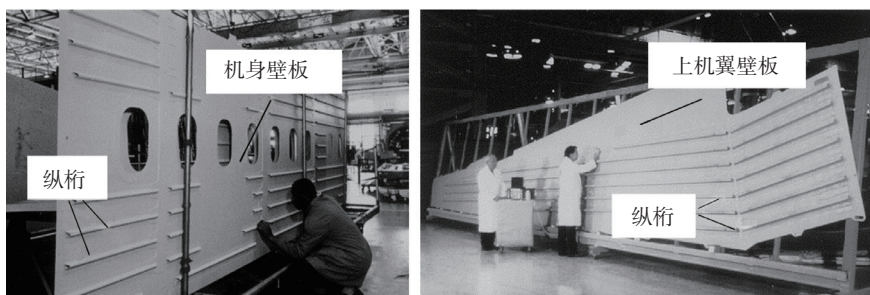


图1 BAe 146/AVRO RJ系列支线客机的部分胶接结构

表1 热固化胶粘剂金属对金属胶接室温力学性能比较

胶粘剂种类	剪切强度 /MPa	剥离强度 /(N·25.4mm ⁻¹)
Redux775	27~35	180~270
Redux308A/NA	40~45	200~310
FM73	35~40	245~350
AF163-2	35~40	245~330
EA9330.1	27~35	120~155
SW9323B/A150	27~35	120~155

表2 典型民用飞机机种胶接部位

机种	钣金胶接部位	蜂窝胶接部位
波音747	机翼和尾翼壁板	襟翼、升降舵、方向舵、消音蜂窝
DC-10	-	进气管内壁、消音蜂窝壁板
L-1011	蒙皮加强板、蒙皮壁板(最大尺寸为4.88m×11.6m), 钛止裂带等	前缘检查口盖、消音壁板、扰流片、方向舵等
A300	蒙皮与长桁胶接	操纵面、消音蜂窝
伊尔-86	蒙皮壁板、止裂带	操纵面、消音蜂窝
波音Ae146	机翼壁板与桁条连接	操纵面
波音757 波音767	蒙皮壁板、止裂带	机翼整流罩面板、机翼前缘消音蜂窝
DASH7 DASH8	蒙皮与长桁连接	操纵面
ATR42/72	内外蒙皮连接、整体油箱	操纵面
A320 A330 A340	蒙皮与长桁连接 (典型尺寸为8m×2m)	操纵面、消音蜂窝
波音777	蒙皮壁板	操纵面
Saab2000	加强板、窗框、纵向加强肋	襟翼、前翼、方向舵

型号军用飞机上。但是在民用飞机的生产制造上,由于民用飞机与军用飞机存在着损伤容限、飞行可靠性、飞行寿命等诸多差异,使用的胶粘剂力学性能、耐久性等性能指标的要求也不尽相同,国内胶接体系和胶接技

术仅在国产运-7、运-12、新舟60飞机等螺旋桨民用飞机上获得少量应用。同时,国内胶接体系和胶接技术在民用飞机应用上还缺乏大面积、大部位结构的胶接经验,相对应的国产胶粘剂胶接技术在大型民用飞机上

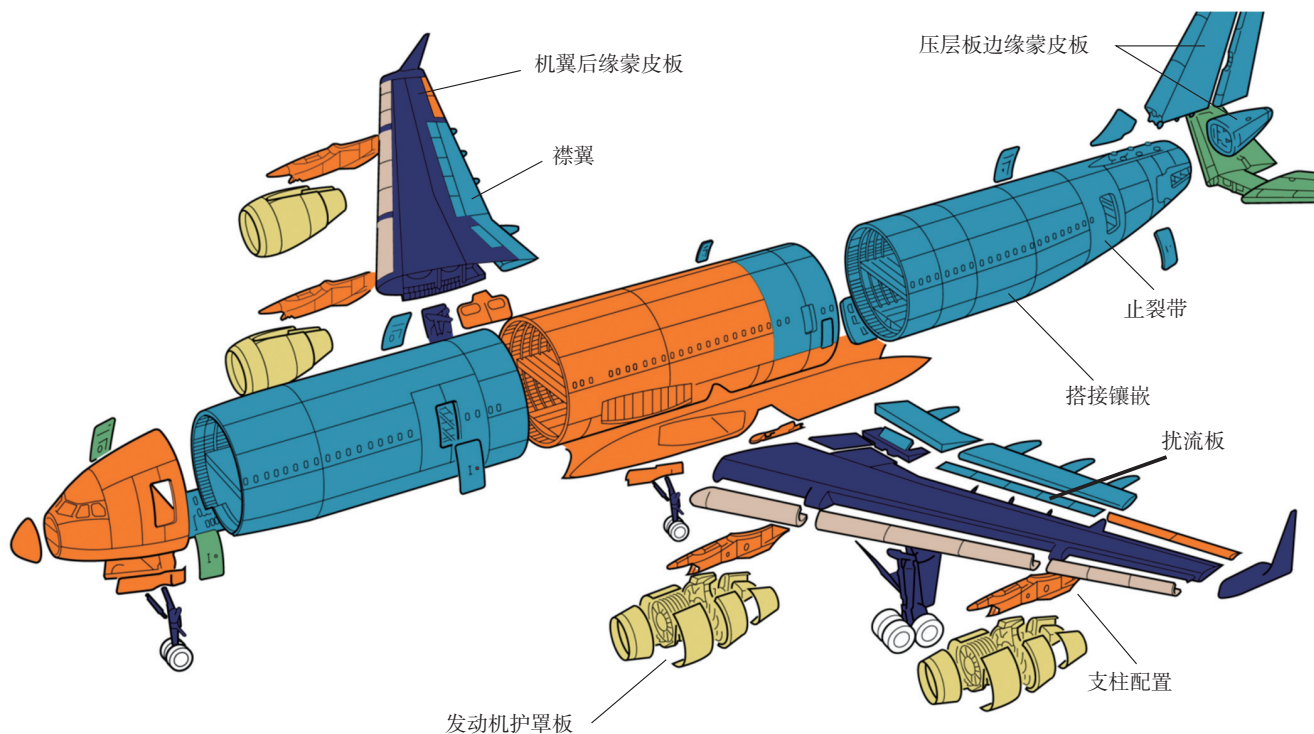


图2 现代飞机的胶接区域示意图

表3 波音系列飞机结构胶接面积

机种	胶接面积/m ²
波音707	224
波音727	480
波音737	400
波音747	3200

的应用还处于未启动状态。虽然近年来我国在喷气式客机上获得了重大成就,支线客机 ARJ-21 目前已经首飞成功,但是该机采用的是国外某品牌成熟的胶接体系和胶接技术。

因此,国内胶接技术与胶接体系在开展胶粘剂与树脂基复合材料胶接的研究,完善胶接体系耐久性能考核与改善胶接体系的工艺性能等研究领域还有诸多工作要做。

民用飞机胶接技术展望

民用飞机作为一种运人载物的交通工具,特别强调其安全性、经济性和舒适性。未来一二十年内,在确保产品可靠性、降低生产成本及

批量化制造等方面带来新的突破将成为民用飞机制造的重点。鉴于胶接技术的固有突出优点,以及几十年来的研制和应用所打下的良好基础,各国的胶接结构都处于继续提高、完善和发展中。目前,大型民用客机通过优胜劣汰的残酷竞争,全球市场几乎被美国波音公司和欧洲空中客车(空客)公司这两大航空巨头垄断,而这两家公司的最新型机种都采用了大量的轻质混合材料制造,如最新的铝锂合金和碳纤维增强塑料(CFRP),而复合材料的大量应用,不可避免地也用到了结构胶粘剂来制造构件。图3为航空用CFRP两种型材以及CFRP及热塑性塑料在空客A380机型中的应用。

随着我国大型运输机和大型客机项目的启动,胶接体系和胶接技术在力学性能、耐高温性、耐久性能等方面有了更为明确的研发需求,主要包括:

(1) 提高胶接结构的耐久性。民用飞机与军用飞机很大的一点不

同就体现在飞行寿命上,军用飞机的航行时间为5000h,而民用飞机的航行时间需要达到60000h,因此需要研制耐久性优良的胶接体系以确保民用飞机的飞行寿命。

(2) 开拓新材料胶接技术。为了在降低民用飞机成本的同时确保安全,轻质高强材料包括铝锂合金、复合材料等获得了大量的应用,相应的需要针对复合材料胶接蜂窝结构、聚芳酰胺增强铝层压板(ARALL)结构、铝锂合金胶接结构与先进室温固化胶接结构等胶接技术进行相关研究。

(3) 简化胶接固化工艺。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,虽然随着胶接技术的发展,国外胶粘剂公司研发出许多类型的高(175℃)、中(120℃)温固化胶粘剂,但是针对现在工艺技术趋于操作简单方便的特点,仍需要研制中、低温甚至常温固化、性能优异的胶粘剂体系。

(4) 开拓胶接件的质量检测方

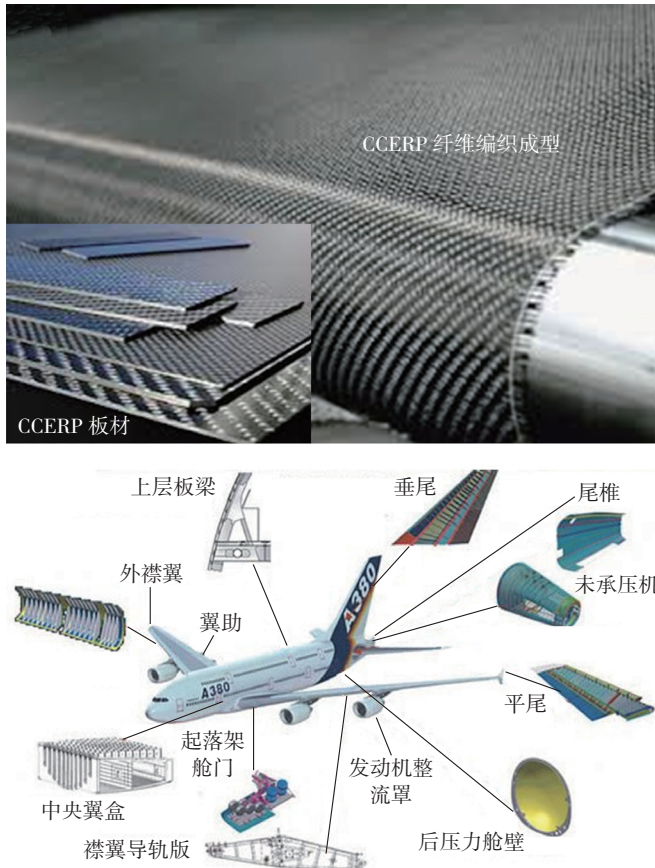


图3 碳纤维增强塑料的2种不同型材与空客A380中采用CFRP及热塑性塑料的构件

法。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,而胶接件在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等问题,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。

(5) 进一步完善计算机辅助胶接技术。计算机辅助胶接技术可以逐步进行,主要包括:采用CAD/CAE/CAM 技术进行零件加工及胶接工装的设计、制造和优化;计算机辅助进行被粘件的表面处理,包括槽液配制监控、自动化实现表面清洗及表面处理、对制备后的胶接件表面进行计算机辅助观察检验;对胶粘剂和底胶建立计算机辅助验收检验系统;由计算机辅助完成胶接固化密封系统自动检漏及固化实时监控,逐步实现针对包括固化时间、固化温度、固化压力等的分步控制、自适应控制

等;胶接构件的胶接质量采用计算机辅助智能化无损检测鉴定,所有信息及记录均自动制成文件;运用计算机集成化技术,实现胶接全过程计算机辅助管理控制,包括胶接零件追踪技术及机器人自动传送工具和零部件等。通过以上研究最终实现计算机辅助胶接流程。

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,因此胶接技术与胶接体系不但要满足各项工艺性能的要求,还要满足适航当局的要求。随着这些问题的解决,我国胶接技术水平将有很大的提升。国内现有的军用飞机用胶粘剂体系和胶接技术也将对这些项目起到促进作用,特别是在与西方国家进行合作生产过程中将积累大量经验,为国产胶接体系和胶接技术在民用飞机上的应用产生巨大的推动作用^[13-15]。

结束语

胶接技术应用于民用飞机数十年以来,应用范围和应用面积都呈增长趋势,可以说当代任何一种先进飞机的设计和制造都离不开胶接技术的应用。我国无论是大型客机项目的研发还是低空领域的开放,都为民用飞机提供了很大的发展空间,而研制新型民用飞机也离不开胶接体系和胶接技术的应用,研制高性能耐久胶接体系、开拓新材料胶接技术成为一种新的挑战!

参考文献

- [1] 郭忠信. 铝合金结构胶接. 北京: 国防工业出版社, 1993.
- [2] 成大先. 机械设计手册. 北京: 化学工业出版社, 2002.
- [3] 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. 化学与黏合, 2006, 28(3): 172-175.
- [5] 张立国. 国内外民用机用胶黏剂的应用概况及展望. 化学与黏合, 2009, 31(2): 47-51.
- [6] 胡建国. 飞机金属胶接技术现状及展望. 航空工艺技术, 1988, 1: 6-9.
- [7] 李春威. 复合材料胶接技术的发展与应用. 航空制造技术, 2011(20): 88-91.
- [8] 陈绍杰. 复合材料与 A380 客机. 航空制造工程, 2002(9): 27-29.
- [9] 王起. 国外民用客机连接技术发展概况. 航空工艺技术, 1997, 3: 21-22, 25.
- [10] Higgins A. Adhesive bonding of aircraft structures. International Journal of Adhesion & Adhesives, 2000(20): 367-376.
- [11] 张岩. 胶接技术发展概述. 科技信息, 2008, 17: 46-47.
- [12] 王致禄, 赵颖, 朱金华. 宇航结构胶的发展概况. 化学与黏合, 2009, 31(1): 53-56.
- [13] 奚韶珍. 我国胶粘剂产业发展现状及未来趋势. 合作经济与科技, 2004(9): 35-41.
- [14] 龚萃凡. 我国胶粘剂生产情况分析报告. 中国胶粘剂, 2003(3): 10-14.
- [15] 石磊, 葛学贵, 杨中洲, 等. 我国胶粘剂技术现状、发展趋势和应用前景. 中国胶粘剂, 2005(8): 4-8.

(责编 小城)