

# 复合材料 $\Omega$ 形加筋壁板 细节加强技术概述

## Review on Strengthen Design of $\Omega$ Type Composites Stiffened Panel

中国商飞上海飞机设计研究院结构设计研究部 卢秉贺 李希岩 叶 军 李 萍



卢秉贺

工程师, 主要研究方向为飞行器结构设计、复合材料结构优化设计。

先进复合材料在飞机结构上的应用愈加广泛, 现已经与铝合金、钛合金、钢共同成为飞机机体结构的四大结构材料。增强碳纤维复合材料具有高模量、高强度、比重小、耐腐蚀的特点, 越来越多的应用于飞机结构主承力加筋壁板结构<sup>[1-2]</sup>。 $\Omega$ 形加筋壁板的长桁切面尺寸较大, 两边与蒙皮相连接形成一个闭合切面, 具有很高的受压稳定性, 可以承受很高的载荷。复合材料  $\Omega$  形加筋壁板是机

由于蒙皮和长桁的固化连接薄弱, 蒙皮和长桁的分离会在低载荷下发生, 进而会导致结构承载能力下降, 不能很好地发挥加筋壁板结构的优势, 因而需要对复合材料  $\Omega$  形加筋壁板进行细节加强设计, 提高加筋壁板的安全性和可靠性。

身结构型式的发展趋势, 如最新研制的波音 B787、空客 A350 都采用这种结构形式。

加筋壁板是由蒙皮和长桁为主体单元组成的薄壁结构, 蒙皮和长桁的设计是加筋壁板承载的核心问题, 然而细节上的设计也是飞机研制的重要环节。由于蒙皮和长桁的固化连接薄弱, 蒙皮和长桁的分离会在低载荷下发生, 进而会导致结构承载能力下降, 不能很好地发挥加筋壁板结构的优势, 因而需要对复合材料  $\Omega$  形加筋壁板进行细节加强设计, 提高加筋壁板的安全性和可靠性。本文对 3 种复合材料  $\Omega$  形加筋壁板细节加强技术作出介绍, 降低筋条与蒙皮在低载荷下分离的发生, 完全发挥  $\Omega$  形加筋壁板的承载能力。

### 长桁和蒙皮封闭内腔 加强技术<sup>[3-4]</sup>

复合材料加筋壁板通常采用共固化成形制造方案, 这是一种整体化制造方法, 将若干不同的复合材料零件设计成一个较大的整体件, 在热压罐内一次固化中同时完成固化和胶结过程的工艺。共固化方法可以减少复合材料零件数量, 减少连接件和连接过渡区域的附加重量。 $\Omega$  形复合材料加筋壁板的蒙皮和长桁形成的闭合切面尺寸较大, 但仅有  $\Omega$  形长桁底边与蒙皮相连, 连接相对薄弱。通过长桁和蒙皮封闭内腔铺层复合材料预浸料, 同时连接蒙皮和  $\Omega$  形长桁的两个侧边, 能很好地解决连接薄弱的问题, 如图 1 所示。

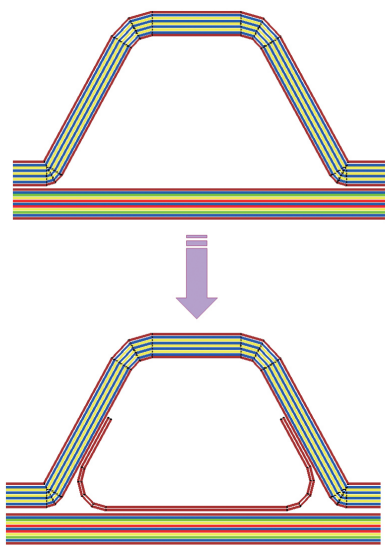


图1 长桁和蒙皮封闭内腔加强技术示意图

出于成型质量的考虑,复合材料加强预浸料与蒙皮和长桁共固化成型,能够继续保障复合材料结构的整体性。复合材料加强预浸料位于长桁形成腔体内部,铺覆难度较大。而复合材料织物的铺贴性好,适宜作为复合材料加强预浸料对长桁和蒙皮封闭内腔进行加强。

### 长桁和蒙皮连接转角处加强技术

复合材料  $\Omega$  形加筋壁板的长桁和蒙皮连接转角处,由于外载荷的作用,会存在较大的应力集中,将滚压后的单向带预浸料在长桁和蒙皮连接转角处进行填充,可以有效解决这种问题。制作时,使用复合材料单向带预浸料沿纤维方向卷成圆柱状,再

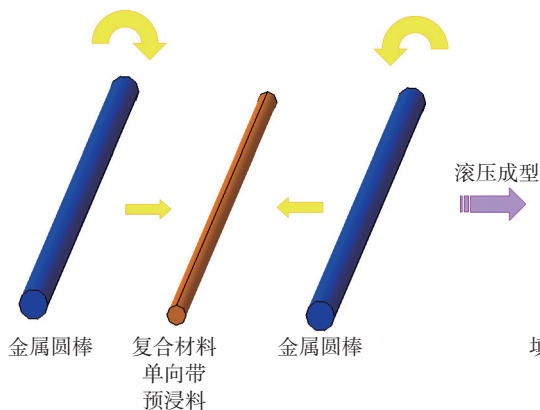


图2 滚压单向带预浸料填充物制造过程

用表面光洁的金属圆棒滚压成型,如图2所示。

然后将制造完成的填充材料植入长桁和蒙皮连接转角区域,与复合材料蒙皮和长桁完全贴合,如图3所示。如果复合材料  $\Omega$  形加筋壁板已经进行长桁和蒙皮封闭内腔加强,填充材料需与蒙皮、长桁和内腔加强复合材料织物完全贴合。为保障填充质量,一般情况下填充材料不允许分段,并注意避免出现填充量不足或过度填充。

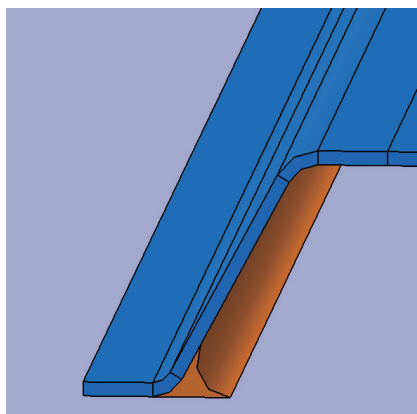


图3 长桁和蒙皮连接转角加强示意图

### 长桁端头处加强技术

复合材料  $\Omega$  形加筋壁板的长桁端头位置处,在载荷作用下,蒙皮和长桁之间会产生脱胶或者脱层现象。通过复合材料  $\Omega$  形加筋壁板的剪切试验可以明显看出这种现象的发生。

在剪切载荷下,复合材料  $\Omega$  形加筋壁板容易发生总体失稳,蒙皮和长桁间出现分离。

在长桁端头处,用紧固件连接蒙皮和长桁,可以提高复合材料  $\Omega$  形加筋壁板抗失稳载荷,提高蒙皮和长桁分离的载荷,如图4所示。

考虑到复合材料受冲击损

伤易出现分层现象,故连接蒙皮和长桁的紧固件不适宜采用铆钉。考虑螺栓、高锁螺栓、环槽钉各自的重量,高锁螺栓或者环槽钉适合用于在长桁端头处连接复合材料蒙皮和长桁,用于加强复合材料  $\Omega$  形加筋壁板。

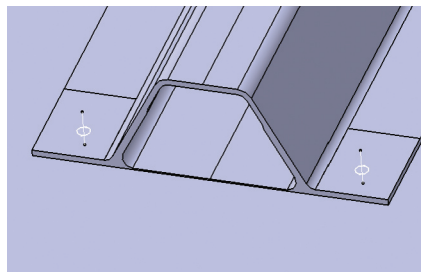


图4 复合材料  $\Omega$  形加筋壁板长桁端头增加连接加强方案

## 结 论

本文关注复合材料  $\Omega$  形加筋壁板在实际应用中的结构使用效果,考虑复合材料  $\Omega$  形加筋壁板设计上可能出现的细节问题,介绍了3种复合材料  $\Omega$  形加筋壁板加强技术:  $\Omega$  形长桁和蒙皮封闭内腔增加复合材料织物铺层加强技术、长桁和蒙皮连接转角处填充滚压后的单向带预浸料加强技术、长桁端头处增加连接加强技术。本文充分讨论了缺少加强设计出现的问题,并给出了加强设计的实际操作方法,期望能够指导工程设计,进一步提高复合材料  $\Omega$  形加筋壁板在我国的航空领域的应用,促进我国航空产业的发展。

## 参 考 文 献

[1] 中国航空研究院. 复合材料结构设计手册. 北京: 航空工业出版社, 2004.  
 [2] 沈观林, 胡更开. 复合材料力学. 北京: 清华大学出版社, 2006.  
 [3] 卢秉贺, 李萍. 基于 Hypersizer 的复合材料结构铺层设计和铺层过渡设计. 科学技术与工程, 2011, 11(22):5482-5485.  
 [4] 卢秉贺, 李萍, 张军伟. 基于 Patran/Nastran 和 Hypersizer 的复合材料后机身加筋结构形式选择分析. 民用飞机设计与研究, 2012 (2):53-56. (责编 深蓝)