

天线安装罩零件孔位偏移工艺方法改进

王林风, 孟航

(中航西安飞机工业集团股份有限公司, 陕西 西安 710089)

摘要: 复合材料因其具有高比强度、高比刚度、可设计性强、便于大面积整体成型等优点, 在航空航天领域的应用日益广泛。本文针对天线安装罩在制造过程中出现孔位偏移现象, 基于故障树分析法研究了该现象产生的原因及机理, 同时提出了相应的改进措施, 并且完成了现场跟踪验证, 从而使得零件的孔位公差满足文件要求, 同时也为复合材料天线罩类零件的成型工艺的改进提供重要参考。

关键词: 复合材料; 天线安装罩; 孔位偏移; 故障树分析法

中图分类号: TQ320.67

文献标识码: B

文章编号: 1009-797X(2025)09-0070-04

DOI: 10.13520/j.cnki.rpte.2025.09.015

0 前言

纤维增强树脂基复合材料(简称“复合材料”)是在树脂基体中嵌入高性能纤维, 比如玻璃纤维、碳纤维、超高分子量聚乙烯纤维和芳纶纤维等所制得的材料^[1]。具有比强度和比刚度高、耐高温、耐腐蚀、抗疲劳性能好、减震性好、成型工艺简单等优异性能^[2-6]。目前纤维增强树脂基复合材料已经成为继铝合金、钛合金之后在航空航天、军工、汽车、能源、体育等领域最重要的结构材料之一。

航空飞机上的天线安装罩一般用来安装成品天线, 该类零件一般为层压件, 由8层玻璃纤维增强环氧预浸料铺贴而成。该类零件具有气动外形要求高, 孔位精度要求高的特点。天线安装罩的结构示意图见图1。在实际生产中, 天线安装罩在安装前测向天线时, 托板螺母距离理论孔位偏移6 mm, 如图1所示, 不能满足装配需求。由于上述天线安装罩孔位偏移问题, 造成该零件发生报废。

为了避免零件后续出现同样的现象, 本文以天线安装罩为对象, 对该零件上孔位发生偏移的原因及机理进行了分析, 然后提出了相应的改进措施, 从而使得零件的孔位公差满足文件要求, 同时也为复合材料天线罩类零件的成型工艺的改进提供参考。

1 制造工艺简述

天线安装罩由8层玻璃纤维增强环氧预浸料铺贴而成, 玻璃纤维预浸料的材料牌号为MXB7701/1581 DP, 一次固化成型, 成型模为凸模。

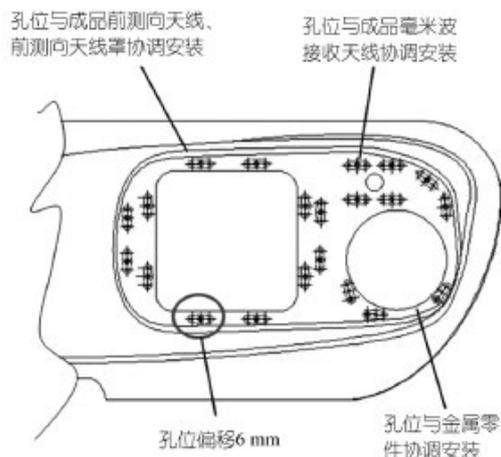


图1 天线安装罩零件结构示意图

天线安装罩的制造工艺流程如图2所示。

在天线安装罩装配工序, 在初孔位置基础上, 需要对初孔进行扩孔, 扩到终孔大小, 然后安装托板螺母, 托板螺母安装完成后装配成品天线。

2 原因分析

针对天线安装罩与前测向天线之间装配不协调现象, 进行了故障树分析, 故障树如图3所示。

通过对故障现象进行分析, 共梳理出10项底事件, 现对这10项底事件进行分析。

作者简介: 王林风(1992-), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要从事复合材料的成型和制造工作。

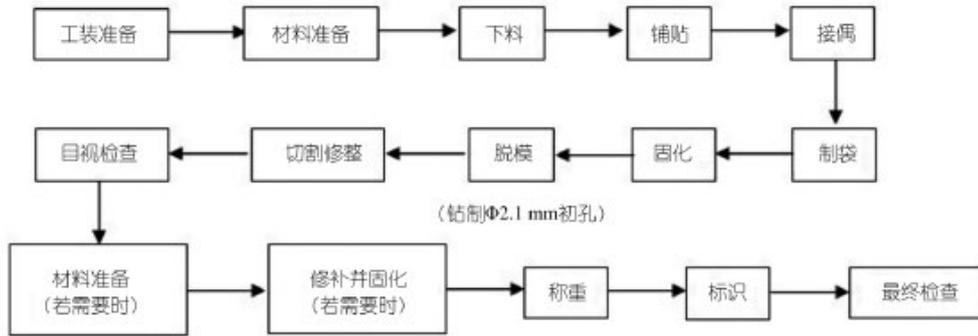


图2 天线安装罩制造工艺流程

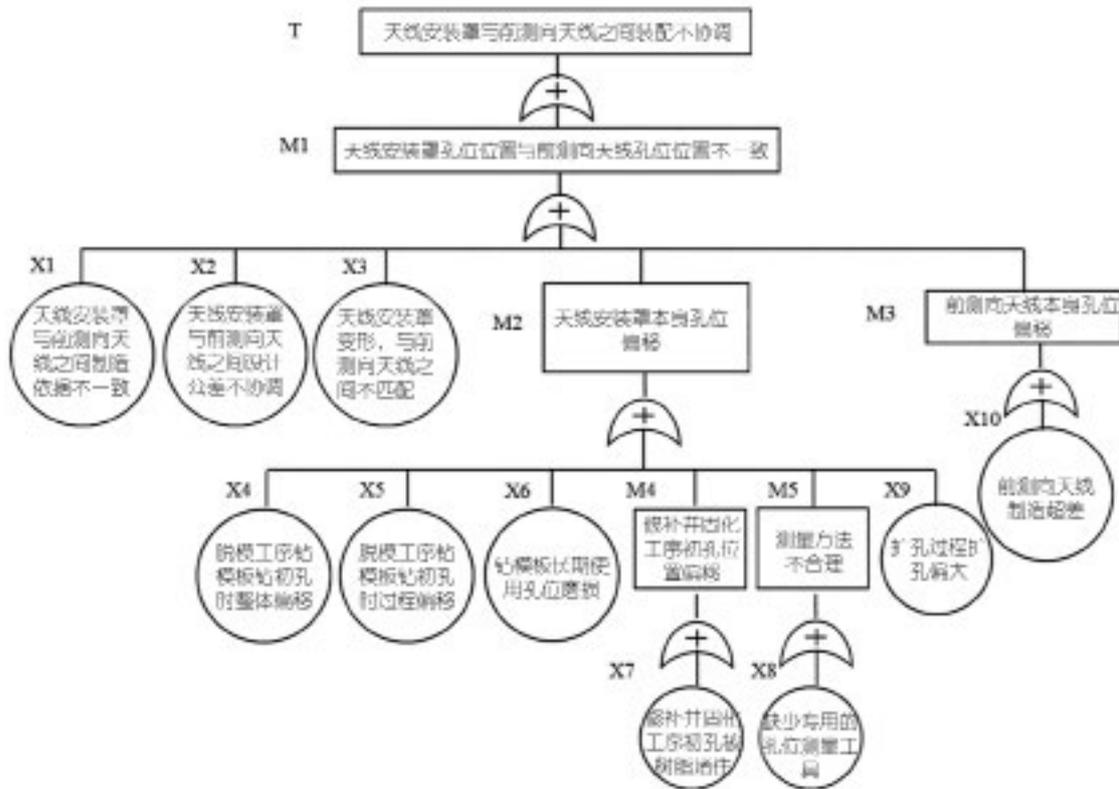


图3 故障树

底事件分析：

X1—通过查询两者的制造依据，天线安装罩孔位的制造依据和前测向天线的制造依据一致，均为前测向天线的数模，故排除该底事件。

X2—天线安装罩终孔尺寸为 $\Phi 3.1 \text{ mm}$ ，依据 HB7741—2004（复合材料件一般公差），其设计公差为 $\pm 0.2 \text{ mm}$ ；前测向天线孔位尺寸为 $\Phi 3.5 \text{ mm}$ ，依据 GB/T 1800.4—1999（极限与配合 标准公差等级和孔、轴的极限偏差表），其设计公差为 $0 \sim +0.3 \text{ mm}$ ，天线安装罩与前测向天线之间的孔位尺寸和设计公差协

调，故排除该底事件。

X3—将天线安装罩在成型模上进行外形检验，天线安装罩外形与工装之间匹配较好，安装前测向天线的零件表面无变形现象，故排除该底事件。

X4—脱模工序是在零件脱模之前使用工装上自带的钻模板对零件上的 16 个孔位进行 $\Phi 2.1 \text{ mm}$ 的初孔钻制，如果是脱模过程工装上自带的钻模板钻初孔时整体偏移，则理论上应是所有的孔位与理论位置发生偏移，而所有孔位之间的相对位置则不改变，但实际上只有一个孔位的位置发生偏移，因此排除脱模工序

钻模板钻初孔时整体偏移的可能，故排除该底事件。

X5—脱模工序是在零件脱模之前，将钻模板通过2个销钉和1个螺钉安装到工装本体上，然后通过钻头将钻模板上的孔位引到零件表面进行初孔钻制，如图4所示。如果在钻初孔过程中钻模板位置发生偏移，导致其中一个孔位发生6 mm的位置偏移，那么在钻制该初孔时，则钻模板肯定是未固定到工装本体上，处于不稳定的状态下发生。如果钻模板在只有1个销钉或者螺钉固定的状态下进行初孔钻制，那么该钻模板肯定会以固定中心进行左右旋转，然后钻出来的初孔位置也是处于理论位置的左侧或者右侧，但实际上孔位偏移的方向位于理论孔位的正上方，如图4所示。因此排除脱模工序钻模板钻初孔时过程偏移的可能，故排除该底事件。

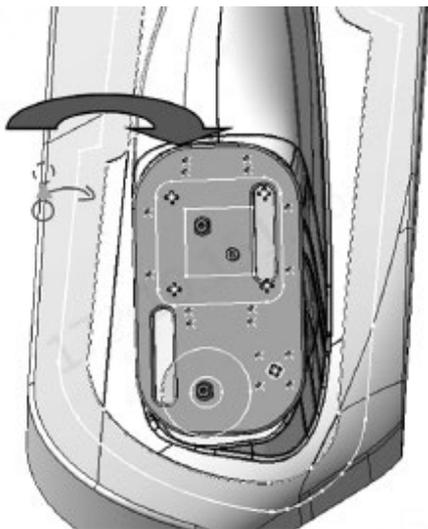


图4 钻模板钻制初孔示意图

X6—天线安装罩所使用的工装使用时间不超过2年。且通过对工装的钻模板孔径（偏移的孔位）进行测量，钻模板孔径尺寸为2.21 mm，超出了工装制造的公差范围要求，工装制造的公差要求为±0.1 mm，但是依据HB7741-2004（复合材料件一般公差），初孔为Φ2.1 mm的机械加工公差为±0.2 mm，未超出复材零件的制造公差，因此排除钻模板孔位磨损导致零件孔位发生偏移，故排除该底事件。

X7—天线安装罩上所有的初孔为Φ2.1 mm，修补的树脂为BMS8-301 2类树脂，由于初孔较小，因此在初孔未保护的情况下树脂通过流动很容易将孔位堵住，导致孔位位置不清晰。再重新进行钻孔时，孔位位置发生了较大偏移。因此分析修补并固化工序中初孔位置被树脂堵住，工人重新钻孔时孔位置确认错

误导致前向天线安装罩组件孔位偏移，故该底事件不能排除。

X8—天线安装罩制造完成后，缺少专用的孔位测量工具来检验该零件上的初孔位置是否正确。当零件交付到装配工序时，未能及时发现孔位偏移问题。因此，缺少专用的孔位测量工具也是导致天线安装罩孔位偏移的原因之一，故该底事件不能排除。

X9—在天线安装罩装配工序，在初孔位置基础上，需要对初孔进行扩孔，扩到终孔大小，然后安装托板螺母。该零件出现一个托板螺母孔位距离理论位置偏移了6 mm，零件上的托板螺母孔径实测大小为Φ3.1 mm，不可能是由于扩孔错误所致，因此排除了扩孔过程扩孔偏大导致终孔位置发生偏移，故排除该底事件。

X10—在现场通过更换新的前测向天线，将其安装到天线安装罩上，装配结果与更换前的装配结果完全一致，即天线安装罩上的孔位与前测向天线上的孔位仍然相差6 mm。然后对前测向天线的孔位进行测量，发现前测向天线孔位尺寸与数模一致。因此，排除了前测向天线制造超差的可能，故排除该底事件。

从图3故障树及以上分析可见，导致天线安装罩与前测向天线之间装配不协调故障现象主要原因是由于天线安装罩在修补并固化工序中初孔位置被树脂堵住以及缺少专用的孔位测量工具。

4 机理分析

天线安装罩孔位偏移的原因主要有两方面，一方面是由于修补并固化工序中初孔位置被树脂堵住，堵住之后，也无可靠的措施保证制孔位置的准确性，另一方面是零件交付之前，缺少专用的孔位测量工具。

玻璃纤维增强环氧预浸料的树脂含量为38%，零件固化完成后在局部区域会出现贫胶现象，因此需要用树脂进行修补。天线安装罩上所有的初孔为Φ2.1 mm，修补树脂A组分的黏度为5 000~7 000 cps，B组分的黏度为1 300~2 000 cps，A组分和B组分混合均匀后的树脂黏度较大，因此在初孔为Φ2.1 mm且未保护的情况下树脂很容易将孔位堵住，导致孔位位置不清晰，如图5所示。

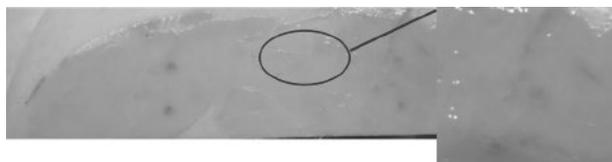


图5 树脂修补之后的孔位

5 改进措施

为了解决天线安装罩上孔位发生偏移的问题，在零件制造过程中提出了一系列的改进措施，主要如下：

(1) 在树脂修补阶段细化修补操作。在树脂修补过程中注意对零件表面的初孔进行保护；在树脂修补之后，固化之前对于不清晰的孔位及时透孔，确保孔位位置清晰。

(2) 申请专用的天线安装罩孔位检验样板。初孔钻制完成后对零件上的初孔使用检验样板进行检查，对于不满足文件要求的天线安装罩进行返工处理，从而保证合格的零件用于后续生产装配中。

上述改进措施经过了现场跟踪验证，天线安装罩未出现孔位偏移现象。

6 结语

本文针对天线安装罩在制造过程中出现孔位偏移

现象，基于故障树分析法研究了该现象产生的原因及机理。通过该项目研究，有效验证了复合材料零件制造过程控制的重要性，以及检验方法对最终成型之后零件外形尺寸的重要性，同时也为后续类似零件的制造过程提供了重要参考。

参考文献：

- [1] 牛磊, 黄英, 张银铃. 高性能纤维增强树脂基复合材料的研究进展 [J]. 材料开发与应用, 2012, 27(3):86-91.
- [2] 唐见茂. 航空航天复合材料发展现状及前景 [J]. 航天器环境工程, 2013,30(4):352-359.
- [3] 张大为. 复合材料机翼结构工程优化设计与分析方法 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.
- [4] 赵美英. 复合材料机械连接失效分析及强度影响因素研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2006.
- [5] 赵程, 罗昆, 张桓. 复合材料的研究现状及展望 [J]. 浙江万里学院学报, 2005,18(2):103-107.
- [6] 杜善义. 先进复合材料与航空航天 [J]. 复合材料学报, 2007,24(1):1-12.

Improvement of hole displacement process for antenna installation cover parts

Wang Linfeng, Meng Hang

(AVIC Xi'an Aircraft Industry Group Co. LTD., Xi'an 710089, Shaanxi)

Abstract: Composite materials are becoming increasingly popular in the aerospace industry due to their high specific strength, high specific stiffness, excellent designability, and ease of large-area integral molding. This article focuses on the problem of hole displacement that occurs during the manufacturing process of antenna installation covers. The fault tree analysis method is used to deeply explore the causes and mechanisms of this phenomenon, and corresponding improvement measures are proposed. In addition, through on-site tracking and verification, it has been ensured that the hole tolerance of the parts meets the document standards, and it also provides important reference for the optimization of the forming process of composite antenna cover parts.

Key words: composite materials; antenna installation cover; hole displacement; fault tree analysis

(R-03)

