

# 大曲率天线罩的研制

成 理

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

**摘要:**针对天线罩的结构特点, 对制造的关键技术进行了研究。通过合理的选材, 二次固化成型工艺, 在严格控制工艺参数条件下, 研制出了等厚度大曲率天线罩, 其性能符合设计要求。

**关键词:**天线罩; 蜂窝夹层结构; 复合材料

中图分类号: V262.415 文献标识码: A 文章编号: 1007-9815 (2010) 02-0026-03

## Study of Large Curvature Radome

CHENG Li

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095 China)

**Abstract:** In point of the structural characteristics of a radome, the key technologies for manufacturing were studied. Through a rational selection and using twice curing process, in the strictly controlled process parameters conditions, a large curvature of the same thickness of the antenna cover was manufactured, its performance met the design requirements.

**Key words:** radome; honeycomb sandwich structure; composite

天线罩是用来保护雷达天线或整个微波系统免受外部有害环境影响的壳体<sup>[1]</sup>。其使用要求是应具有优异的介电性能, 足够的强度和刚度, 良好的气动外形, 同时它也是雷达系统的重要组成部分。

我国机载天线罩的研制水平是随着航空工业的发展而快速发展的, 特别是近年来已研制成功各种结构形式的天线罩, 如实芯半波壁结构、准半波壁结构、蜂窝夹层结构、泡沫夹层结构等。

本研制项目的天线罩结构形式是蜂窝夹层结构, 上、下蒙皮选用中温固化玻璃布预浸料, 芯材为NOMEX蜂窝。工艺上采用热压罐二次固化工艺。在严格控制工艺参数的条件下, 解决了等厚度、大曲率、制件形状尺寸难以保证的难题, 制备出满足设计要求的制件。天线罩的结构示意图见图1。

## 1 试验部分

### 1.1 试验材料

罩体主要材料见表1。

### 1.2 设备

成型模具、热压罐和烘房。

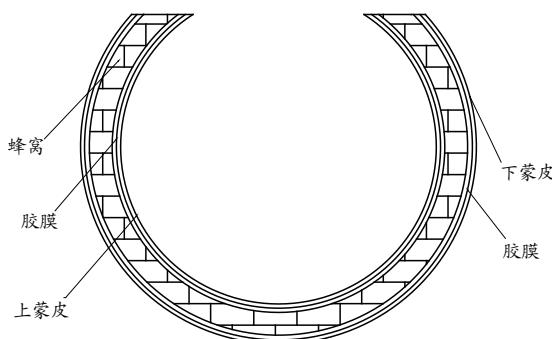


图1 天线罩的结构示意图

收稿日期: 2010-03-23

作者简介: 成理 (1975-), 男, 北京人, 工程师, 主要从事结构复合材料的研究, (电话) 13641032607(电子信箱) vowl@163.com。

表1 罩体主要材料

名 称	用 途
高强玻璃布/中温改性环氧	蒙皮材料
NOMEX蜂窝	夹芯材料
环氧胶膜	蒙皮与芯材的胶接
环氧发泡胶	芯材边缘增强材料

### 1.3 模具

模具技术是复合材料制造技术的重要内容, 是保证复合材料质量的重要前提<sup>[2]</sup>。模具品质的好坏、设计是否合理决定着制件的成败。热压罐成型模具主要分为阳模和阴模, 具体采用哪种形式, 主要由制件的要求、是否容易脱模、铺贴的难易等方面决定。

本制件为蜂窝夹层结构, 为保证良好的气动外形, 降低模具的加工难度, 采用阴模成型。

## 2 结果和讨论

选择合适的天线罩材料体系为天线罩的研制提供了物质基础和可能, 而合理的制造工艺使这种可能成为现实<sup>[3]</sup>。

### 2.1 制造工艺的选择

制造工艺路线的思路是从设计所选材料的工艺性能出发, 在满足技术要求和材料工艺性能要求的前提下, 制定工艺技术路线的各工艺顺序, 并选择合适的工装模具和工艺方法来满足各工序的工艺和设计要求。为保证天线罩外形尺寸、厚度及蒙皮与蜂窝胶接性能, 分别采用热压罐和袋压法固化成型工艺。目前常用的热压罐成型工艺可分为共固化和分步固化, 所谓分步固化, 顾名思义, 即制件固化并非一次完成, 而是根据需要分几次完成<sup>[4]</sup>。对于本制件来说, 分步固化就是将外蒙皮、胶膜、蜂窝组合后进行预固化, 蜂窝

修型后铺贴内蒙皮, 工艺组合后进行二次固化。这种工艺的优点是: 在预固化后, 不仅可以直观地看到蜂窝是否错位, 还可以调整固化工艺防止蜂窝被压塌变形, 研制风险较小。缺点是: 预固化后由于制件不对称产生的内应力, 可使制件变形, 增加二次铺贴的难度, 最终影响制件的固化质量。共固化就是将外蒙皮、胶膜、蜂窝、内蒙皮全部铺贴完成后一次成型。这种工艺的优点是: 固化次数减少, 成本较低, 固化后制件内应力作用均匀。缺点是: 固化中产生问题无法修正, 造成制件报废, 研制风险较大。经研究, 为保证制件质量, 降低研制风险, 采取二次固化的办法。图2是总体工艺路线。为克服二次固化的工艺缺陷, 在制造过程中, 将外蒙皮用压敏胶带固定在模具上, 最大程度降低了内应力对制件的影响。图3是预固化后的制件。由图可以看出, 制件并无明显的应力变形, 说明采取的措施是有效的。

### 2.2 等厚度大曲率蜂窝芯材的制备

根据罩体功能形状要求, 需要将蜂窝弯成超过π弧度的大曲率。由于本制件所用芯材是等厚度(8 mm), 大密度(72 kg/m<sup>3</sup>) NOMEX蜂窝, 若采用成品的蜂窝片材不仅难以达到要求的形状, 而且蜂窝会出现变形、拉断、压塌等问题, 导致蜂窝力学性能失效。经研究, 采用未固化的平板蜂窝, 用热成型的方法在阴模中将蜂窝芯材制成预成型件。

由于未固化蜂窝没有力学性能, 因此预成型时固化压力的选择很重要。经计算, 0.02~0.03 MPa比较适宜, 既不会压塌蜂窝, 也足以使蜂窝成型到位。

蜂窝芯材预成型制备工艺方案如下: 将蜂窝裁剪成规定尺寸放入模具内, 用胶带固定, 覆上气膜后抽真空保持在-0.02~-0.03 MPa负压力范围, 放入烘箱中升温至180 °C, 恒温3 h, 待冷却后脱模取出。经贴模试验, 曲面吻合效果很好, 预成型好的蜂窝芯见图4。

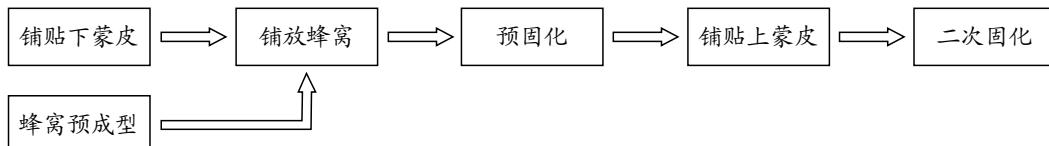


图2 天线罩二次固化工艺路线

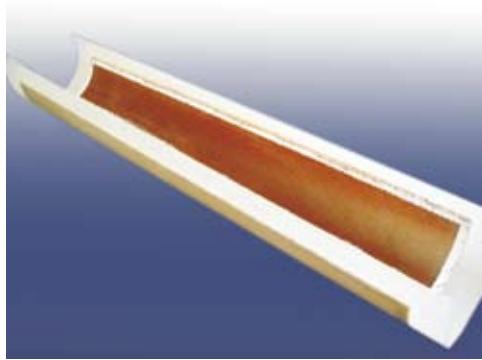


图3 预固化后的制件

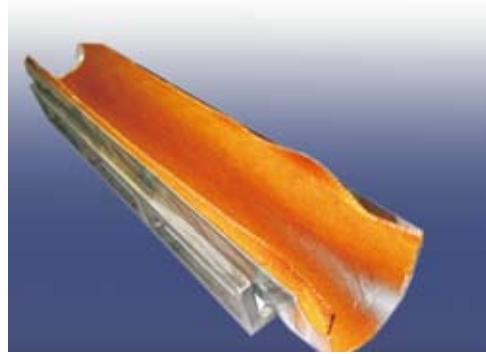


图4 预成型好的蜂窝芯

### 3 结论

(1) 对成型后的天线罩进行了包括电性能、基本力学性能等在内的一系列测试，各项指标均达到设计要求。

(2) 选用高强玻璃布/中温改性环氧预浸料做蒙皮，NOMEX蜂窝为芯材，采用二次固化热压罐成型工艺，在严格控制工艺参数条件下，研制出了符合设计要求的天线罩。

### 参考文献

- [1] 轩立新, 李勇, 高树理. 机载雷达罩技术发展展望[C], 第十三届全国复合材料学术会议论文集, 2004.
- [2] 杨博, 舒卫国. 双曲高性能雷达天线罩的研制[C], 第十七届玻璃钢/复合材料学术年会论文集, 2008.
- [3] 陈祥宝. 聚合物基复合材料手册[M], 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [4] 杨明, 稔培军, 张华, 等. 透波窗成型工艺研究[C], 第十四届全国复合材料学术年会论文集, 2006.

## 西格里集团携手宝马集团于美国华盛顿州兴建碳纤维工厂

2010年4月6日, 德国西格里集团和宝马集团在西雅图宣布, 其合资公司—西格里汽车碳纤维有限责任公司, 将会在华盛顿州的Moses Lake兴建一座先进的碳纤维制造工厂。初期阶段将会投资1亿美元并给当地创造80个新的工作岗位。

新工厂的成立是西格里集团和宝马战略部署的重要一步, 其计划将超轻型碳纤维复合材料应用在未来汽车概念, 并将之进行商业化生产。据悉, Moses Lake工厂制造的碳纤维将仅供宝马集团Megacity车型的生产。2010年2月, 宝马集团宣布这款全新的城市车型将在德国莱比锡进行组装, 并于2015年前通过宝马旗下子品牌发布, 而Megacity车型中一个关键零部件就是在美国这家工厂生产的。

宝马和西格里集团一直是实行可持续发展商业运作模式的领军企业。这次在Moses Lake设厂, 主要是考虑到华盛顿州可再生水力资源十分丰富, 能源成本相对低廉, 而且良好的基础设施和现有设备、技术熟练的劳动力资源以及与当地政府的良好合作, 这些也都是选址Moses Lake的因素。

西格里集团首席执行官Robert Koehler表示: “此次在Moses Lake设新厂是汽车行业规模化使用碳纤维做生产材料的里程碑。这个工厂拥有先进的技术, 是当今最具成本效益的碳纤维工厂。碳纤维材料的制造是西格里集团的一个核心业务, 我们相信在和宝马集团的共同努力下, 碳纤维一定能在轻型汽车制造业掀起一场革命。”

宝马集团管理委员会成员Friedrich Eichiner说道: “碳纤维是一种尖端材料。我们的共同努力一定能使可持续移动工具在城市中成为可能。可持续发展是我们公司战略的组成部分, 并贯穿于整个价值链中。因此, 我们使用水力资源作为生产碳纤维的能源。轻质结构对于可持续移动工具而言是至关重要的一个方面, 这既可以降低油耗, 又能减少二氧化碳排放, 这也是我们高效的的动力战略的两个关键要素。通过将碳纤维复合材料部件应用于我们的Megacity车型, 我们将可持续移动工具的发展又向前推进了一步。西格里集团的专业知识与技术再加上我们在碳纤维复合材料部件方面的生产技艺, 相信我们可以实现碳纤维增强部件的首次低成本量产。这和Megacity之类电动车可谓关系密切。”

碳纤维增强塑料的生产需要经过多道工序。首先, 西格里集团和日本三菱丽阳的合资公司将会负责生产碳纤维的原材料—PAN基原丝。之后, 原丝在Moses Lake工厂被转化成真正的碳纤维。双方位于德国的第二家合资工厂则会把这些碳纤维加工成轻型碳纤维织物。然后, 这些碳纤维织物会被运往宝马集团位于德国Landsut的工厂进行碳纤维增强塑料部件的生产。而Megacity车型的组装则由宝马集团位于德国莱比锡的工厂负责, 宝马1系和宝马X1系都是在这里制造的。

西格里集团和宝马集团已经在碳纤维复合材料领域里合作了多年, 2009年10月成立的这家合资公司整合了两者的核心竞争力, 致力实现车用碳纤维材料的工业化生产。

作为欧洲唯一一家碳纤维及其复合材料的制造商, 西格里集团覆盖了碳纤维生产的完整价值链, 集团将充分发挥和利用其在高性能材料方面的技术知识和碳纤维材料方面的宝贵经验。同时, 宝马集团也将贡献其在轻型汽车设计和生产、以及宝马M系和赛车制造方面多年积累的碳纤维增强部件应用的经验。

#### 注重可持续发展和回收利用

在整条供应链中, 环境、社会和经济因素的考虑需并重。碳纤维及其复合材料的制造加工都将建立在环保的考虑之上。北美工厂将使用水电作为能源保障, 而且碳纤维及其相关复合材料的回收利用工序也在开发过程中。

(魏琳琳稿)

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 ADS、HFSS 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>