

高精度碳纤维复合材料天线反射体的制造技术

李建伟

(中国电子科技集团公司第 20 研究所, 710068)

摘要 高型面精度的天线反射体是脉冲雷达系统中天馈分系统的关键部件, 其制造技术是整个雷达系统的制造技术之一; 碳纤维复合材料具有轻质高强、低膨胀的特点, 与金属材料相比在克服自重、环境温度对工作型面精度的影响方面有较大优势, 本文介绍了高精度碳纤维复合材料天线反射体的成形过程及工艺要点, 表明机织物增强预浸料在制造高精度碳纤维复合材料天线反射体方面有更广阔的应用前景。

关键词 高精度 天线反射体 机织物

1 前言

树脂基碳纤维复合材料具有强度、刚度可设计性的特点, 最早应用于航空、航天等对减轻重量有迫切要求的领域, 随着人们对其轻质高强、低膨胀、导热性较好等性能的不断认识, 碳纤维复合材料制造天线反射体的开发研究越来越受到广泛的重视, 应用领域不断扩展, 新性能的产品不断开发, 从原材料的制造、成形工艺的改进、工装模具设计、制造、产品结构的优化设计都在不断的进行。

2 国内外概况

据国外文献报道, 日本曾研制了有 600 块面板组成的口径为 45 m 的毫米波天线, 精度为 0.05 mm r.m.s.; ITAISAT 卫星通信系统天线反射体直径为 2 m, 天线轮廓精度为 0.15~0.2 mm r.m.s.; 英国生产的直径 3.05 m 旋转抛物面天线, 精度为 0.51~0.76 mm r.m.s.

在国内, 1038 所研制了椭圆抛物面天线, 该天线长轴 5.6 m, 短轴为 2.2 m, 精度为 0.39 mm r.m.s.; 508 所长轴为 1.1 m, 短轴为 0.62 m 的偏置抛物面天线, 精度为 0.205~0.365 mm r.m.s.; 黄河机器制造厂研究并生产的 640mm × 680 mm 不对称切角碳纤维天线, 精度为 0.037~0.058 mm r.m.s.; 中电科技集团电子 20、39 研究所也曾研制了长轴为 1.2 m, 短轴为 0.8 m 的偏置赋形天线, 精度为 0.2 mm r.m.s.; 目前国内较国外发达国家的反射体制造水平还有一定距离。

国内外已有的研究和生产表明, 先进复合材料制造天线反射体主要采用三种形式: 单层板加加强筋和背架; 夹层结构和连接预埋件; 夹层结构和简易背架; 除了很小尺寸的用板状 CFRP 之外其余几乎都用夹层结构。

在研究和生产中, 除带有透波结构的卡塞格伦天线反射体用 KFRP 或 GFRP 蒙皮, Nomex 蜂窝芯浸渍酚醛树脂溶液或玻璃钢蜂窝芯浸渍环氧树脂溶液之外, 其余的天线反射体一般都用 CFRP 蒙皮、铝蜂窝芯, 其他材料应用较少, 蒙皮厚度从资料上可见为 0.2~1.0 mm; 蜂

窝芯壁厚 0.02~0.05 mm, 边长 2~6 mm; 蜂窝高度为 5~25 mm, 可分为有孔和无孔两种形式。综合考虑使用环境温度, 成形热应力的释放对产品性能稳定性的影响及成形能耗比等因素, 地面、海上使用的复合材料天线反射体一般采用中温固化碳纤维增强环氧树脂预浸料来成形夹层结构的蒙皮或单层反射板, 对于铝蜂窝与 CFRP 蒙皮接触由于电位不同可能产生的电位腐蚀问题, 一般采用带载体结构胶膜将其隔开予以解决。

先进复合材料制造技术改变了原来均质材料的设计思想, 它是材料、结构设计和工艺密切结合的产物。一般程序为: ①材料研究、生产者提供某预浸料的基本力学性能数据和固化工艺参数; ②工艺和结构设计对产品构件进行力学强度和制造可行性分析, 并依照电气设计人员提供的理论型面方程或相关数据在计算机上进行结构设计和模拟铺层设计; ③确定工艺路线进行初样产品加工并制作随炉检测试样, 根据随炉检测试样的校准数据进行设计优化; ④制作正样产品进行受力加载等试验; ⑤制作标准产品; ⑥检测。

3 成形技术

3.1 模具制造

碳纤维纵向线膨胀系数 $\alpha \leq 1.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$, 在成形高精度碳纤维复合材料天线时, 目前成形温度在 120~200°C 之间, 高于产品正常使用温度, 这就要求模具的膨胀系数尽量与成品的膨胀系数一致, 否则由于膨胀系数不同, 模具的高温形变导致产品高精度的要求无法实现。

成形高精度碳纤维复合材料天线可供使用的模具材料有: 低膨胀合金钢、低膨胀球墨铸铁、石墨和 GFRP 等多种材料, 由于石墨和 GFRP 二次加工困难, 一般采用前两种材料。

反射体模具成形考虑到加工成本一般采用硬模铸造毛坯, 再进行热处理、机械加工的办法, 型面精度高于 0.1 mm r.m.s 的碳纤维复合材料反射体成形模具均经过修正, 模具修正是在一定数量同一产品变形规律总结的基础上进行的; 应用最多的还是依照理论型面尽可能减小设计、加工误差的基础上实现, 国内外通行的模具轮廓度精度误差大约为产品的三分之一左右; 笔者发现: 设计、数控加工工装模具时不同软件的系统误差对模具误差的积累有着重要的影响。

3.2 预浸料的选择

成形高型面精度碳纤维复合材料反射体目前大多采用预浸料, 其增强材料有单向无纬布、各种机织物、编织物等。

国内复合材料制造技术的发展是跟踪国外技术, 最初使用于航空航天领域, 由于国外的技术封锁, 国内在从实验室到工程的转化过程中, 基本采用无纬布增强预浸料成形各类制件, 受其影响国内有相当多的反射体成形也采用此种方法, 此种方法虽然应用多年, 但在实践中也暴露出诸多问题, 如单向无纬布变形性差, 预浸料铺贴工序周期长、工作量大; 反射体为次级结构件, 为保证其成形后的型面满足高精度的要求, 应尽可能设计为等刚度, 虽然单向无纬布沿纤维方向具有较高的比强度和比模量理论计算方便, 但由于其横向力学性能很低, 各向异性过于明显, 反而不利于等刚度设计的实现; 另外, 地面和海上使用的天线反射体在实际使用中承受风载的影响受力状态较为复杂, 单向无纬布不利于载荷的平衡和传递, 应力释放不易进行。

伴随着近几年大型军机国产化项目的实施, 先进复合材料制造技术也实现了引进消化吸收, 织物预浸料的应用得到了重新认识, 织物增强复合材料的显著特点是, 在较大的温度范

围内具有较好的抗冲击、耐损伤性；高的韧性和尺寸稳定性；成形工艺简单，一致性好；还能同时兼顾面内多个方向的性能。碳纤维织物的编织类型有多种，其中二维的主要有平纹、斜纹和缎纹三种；特别对于成形非回转体结构或切割回转体等复杂结构的天线反射体有着极大的优势，这些结构由于加热成形时预浸料固化变形无对称性且不同部位的变形相互影响，织物预浸料更有利于制品尺寸的稳定；织物预浸料在应用理论型面模具制作高精度天线反射体中比单向无纬布预浸料有更大的裁切误差范围。

编织物预浸料成形时树脂浸渍较困难，且生产成本高，故织物预浸料采用机织物制造，虽然对纤维强度的发挥有削弱，但远远满足反射体的力学性能要求；对于复杂的编织物一般采用 RTM 工艺进行树脂浸渍固化；据国内资料报道：当树脂含量为 42%~45% 时，碳布/环氧复合材料的力学性能较佳。

3.3 固化工艺参数的选择

适宜的加压时间为树脂凝胶点靠后一些，加压太早树脂黏度小，流动性强，加压时树脂过多流出，导致最终制品树脂含量低，空隙率高，且树脂流动快会使纤维扭曲，制品产生内应力而翘曲，加压太晚，板材厚度大，空隙率也高。另外，由于加压时制品受力方式与单纯的基本力学性能检测试样平板不同，应注意平衡压力，防止过压，导致制品出现内部损伤，影响寿命。

3.4 夹层结构的制造

反射体蒙皮的成形工序为：清洗模具—涂脱模材料（反射层制作）—按工艺设计角度铺贴裁好的预浸料—封装固化。其中反射层制作过程只是反射体正面蒙皮成形需要进行，反射层可采用添加碳粉或金属粉的富树脂层形成连续反射面或高分子膜转移喷铝或脱模后粘接铝箔，也可用一定目数的金属网用胶膜固定与蒙皮共固化形成，对于这几种方法使用的工作频率不同应根据具体情况选用，另外，对于设备的不同工作环境这几种方法也有各自的优缺点。

如果反射体模具型面曲率过大，铝蜂窝芯材应断开，拼接处用配套发泡胶填充，对于直切边缘结构形式的反射体为防止边缘蜂窝芯材由于产生受力集中而压塌可采用工艺法兰予以保证；特别注意的是对反射体成形应更加严格按照工艺控制升温、加压、保温与降温、降压的速度。

3.5 背架的连接

背架是提高制件整体刚性、稳定制品工作型面、补充力学性能的重要组成部分，它的存在使得结构上各向异性更加明显，为避免二次加热造成不对称翘曲，应采用室温胶接真空袋加压的方法进行。

3.6 装配及测试

天线反射体与支架的连接一般采用胶接和螺接并用的形式，必要时应使用螺栓紧固剂以防止工作过程中松动；测试包括三坐标型面检测和电气性能检测。

4 结论

高精度碳纤维复合材料天线反射体的制造技术是整个雷达系统的关键制造技术之一，应用机织物预浸料成形天线反射体比单纯单向无纬布预浸料有更好的工艺性，成形模具的制造和修正也是实现产品型面高精度要求的有效措施。

参 考 文 献

- 1 肖道荣等. 碳纤维增强天线反射体. 玻璃钢学会第十五届全国玻璃钢 / 复合材料学术年会论文集, 2003.
- 2 李超等. 树脂含量对碳布 / 环氧复合材料力学性能的影响. 纤维复合材料, 2003, No. 1: 15 ~ 18
- 3 夏文干等. 高精度碳纤维复合材料天线的应用研究. 玻璃钢学会第十五届全国玻璃钢 / 复合材料学术年会论文集, 2001.

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)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)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)，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>