

碳纤维增强天线反射体

肖道荣 江万松 高红成

(北京玻璃钢研究设计院 102101)

摘要: 本文介绍国内外天线反射体的发展现状,重点介绍了碳纤维天线反射体的成型方案和成型工艺,以及目前达到的研究水平。

关键词: 碳纤维 天线 反射体

1 前 言

天线反射体广泛应用于通讯卫星和舰船以及现代航空、航天、国防等方面。其研究水平的高低直接关系到一个国家现代航空、航天和国防的能力大小。形象地说,它就象一个人的眼睛,其重要性显而易见。从 2000 年开始,笔者在碳纤维增强复合材料天线反射体方面做了较为深入的研究,期间查阅了大量的文献,得到了较为丰富的资料。本文在此基础上进行总结,希望对从事这方面研究的同志有所帮助和借鉴。

2 国内外发展概况

早期的天线反射体大多采用铝合金塑性加工的方法制造。近年来,随着人们对复合材料轻质高强、可设计性强等优点认识的加深,复合材料制造的反射体的开发研制得到越来越广泛的重视,且国内外不断开发出新性能的产品。

在国外,据文献报道,日本曾研制了由 600 块面板组成的口径为 45m 的毫米波天线,精度为 0.05mm r.m.s^[1]; ITAISAT 卫星通信系统天线反射体直径为 2m,蒙皮厚 0.25mm,由 P-75S 超高模量碳纤维环氧预浸料制成,铝蜂窝夹芯,芯高 6.25mn,天线轮廓精度为 0.15 ~ 0.2mm r.m.s^[2]; 英国生产的直径 3.05m 旋转抛物面 GFRP 天线,精度为 0.51 ~ 0.76mm r.m.s^[3]。

在国内,1038 所研制了椭圆抛物面天线^[3],该天线长轴为 5.6m,短轴为 2.2m,天线精度 0.39mm r.m.s。508 所研制了长轴为 1100mm,短轴为 620mm 的偏置抛物面天线^[4],该天线铝蜂窝夹芯,采用 J-47 胶膜制造,天线精度 0.205 ~ 0.365mm r.m.s。黄河机器制造厂研究并生产的 640 × 680mm 不对称切角碳纤维/环氧复合材料反射体和天线,精度达到 0.037 ~ 0.058mm.r.m.s。总而言之,国内较国外发达国家还有一定的差距,国外最高精度达到 0.003 ~ 0.001mm.r.m.s,而国内最高精度目前只能达到 0.031 ~ 0.06mm r.m.s。

3 成型方案与成型工艺

3.1 成型方案

目前,碳纤维复合材料制造天线反射体主要采用三种结构形式:单层板加加强筋和背架、夹层结构、夹层结构面板简易背架。意大利研制了直径为 4m 的碳纤维复合材料天线^[5],该天线的使用频率为 20/30Hz。反射体为夹层结构加加强筋和背架的结构形式。发射器形状为偏

置抛物面,口径外形为圆,由大型中心段(两块胶接而成)和两侧可折叠弓形块组成。蒙皮为石墨/环氧复合材料,厚0.24mm。夹芯为铝蜂窝,芯子高6.35mm。四周裸露的蜂窝用聚酰亚胺胶带密封,并刺上小孔通气。背面的加强筋也是夹层结构。它的作用是增加结构刚度,连接两块中心段,为展开臂、天线定位机构和四个火工品压紧接头提供界面。加强筋上端有预固化密封帽条,与夹层壳连接采用预固化角条。角条与密封帽条用碳布/环氧复合材料制成。反射器型面精度0.34mm r.m.s。

颜万生等研制了椭圆切割偏馈抛物面的天线反射器^[6]。天线厚10mm,重量为1.6kg,反射面精度为0.13mm.r.m.s,天线抗冲击力3g加速度。反射面采用夹层结构形式,这是因为轻质的蜂窝芯材与泡沫芯材把高强度碳纤维复合材料面板隔开,使得结构惯性矩大大提高。所用的蜂窝芯材是钡酚醛树脂溶液浸渍的玻璃布蜂窝,而复合材料的树脂基体采用酚醛树脂-三氟化硼单乙胺体系。因天线反射面尺寸较小(720×360mm),用含预埋件的夹层结构就满足了天线刚度的要求,而不用再加加强筋和背架。模具是通过精确编程后在数控铣床上加工的,其型面精度0.02mm。

翁昌慧研制的气象卫星天线反射体为碳面板覆铝箔/铝蜂窝夹层结构^[7],总厚度为19.83mm,反射面为 $1.8 \times 1.4\text{m}^2$ 不规则外形,重5.8kg。反射板采用日本M40碳纤维平纹布作为面板材料。碳布以0°/90°铺层作为上下面板。蜂窝芯选用LF铝箔,铝箔厚度为0.04mm。蜂窝为正六边形,其边长为4mm,芯高为18.8mm。结构胶粘剂采用J-47BC,反射体结构采用面板预成型,面板与蜂窝夹芯、预埋件一次性胶接而成,然后再胶接单面铝箔反射层,铝箔反射层采用常温胶接的粘结工艺,避免了由中温胶接单面铝箔造成的不对称翘曲和孔位精度受影响的缺陷。铝箔厚0.05mm。天线反射板的模具用铝合金材料,树脂材料为648/BF₃单乙胺,其成型方法采用真空袋压法。其固化工艺条件的要求为真空大于0.093MPa,于125℃保温2.5h,自然降温,冷却至低于80℃可出炉,出炉后产品的平面度最大长度范围内形变小于0.65mm。胶接单面铝箔反射层的工艺为:在常温下用108-1粘结剂将0.05mm厚的铝箔粘在反射面上,于60℃下固化4h,真空度大于0.093MPa,去热源后再维持压力4h,贴铝箔后产品平面度0.81~1.55mm。

我国的风云一号卫星天线反射体采用的是铝箔/碳纤维/铝蜂窝复合材料夹层结构^[8]。包括两个反射面,且为平面板状。天线反射体A的形状不规则,最大长度1.8m,最大宽度1.42m,重2.9kg;反射体B则是一个直径540mm的圆盘,厚度均为19.83mm,铝箔为纯铝L₄,厚度0.05mm,重0.8kg,用M40碳纤维平纹布制得面板及底板。铝蜂窝芯的厚度为0.04mm,蜂窝为正六边形,其边长为4mm,芯高为18.8mm,胶粘剂J-47胶膜用于板与板之间。预埋件与铝蜂窝芯子的胶接用J-47D泡沫胶,在碳纤维面板上贴铝箔时,将铝箔分成数条小块按规定的拼接线进行拼接。(以保证反射板处于同电位状态)反射体A的均方根值为0.81mm。对于检测板与板之间“横向”胶接,可用激光全息照相、激光散斑、超声波无损探伤等方法,而预埋件的侧面与蜂窝型胶接情况的检测仍未解决。

3.2 成型工艺

诸多文献提出了自己的工艺方法或过程。魏义关于CFRP天线的文献中提出了用CFRP做天线反射面的整个工艺过程^[9]:模具制作→模具加热→预浸料铺覆→配置蜂窝芯→再次铺覆预浸料→加热加压固化→钻孔→脱模→表面测量→加工反射器→边缘密封→保护层处理→反射面精度测量→成品。而过程中的加热、加压、固化一步完成,英国马可尼公司用热压罐进

行,热压罐直径为4m,温度310℃,压力15巴,固化时间8h^[9]。

铺层设计是天线反射体中较关键的一步,颜万生等研制的反射体为椭圆切割偏馈抛物面,其铺层方法是^[6]①采取在椭圆长轴方向交叉铺层,同时保证铺层的均匀对称,以减少翘曲变形和提高制品精度;②减少纤维断口,同时保证纤维铺放有序。在固化规程上,首先是加压时间,适宜的加压时间为树脂凝胶点靠后一些。这是因为加压太早则树脂粘度小,流动性强,加压时树脂过多流出,导致最终制品树脂含量低,孔隙率高,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,树脂已固化,板材厚度大,孔隙率也高。

沃西源提出了一些关于纵向拉伸弹性模量、横向拉伸弹性模量、剪切弹性模量和泊松比等工程常数的计算公式,可节省研制周期和试验费用,并为纤维增强复合材料的优化设计打下了基础^[10]。

法国制作的卫星天线使用 INVAR 钢制作模具^[11],碳或石墨纤维和布环氧预浸料 125℃ 固化,施加 0.6~0.8 MPa 压力。制造精度用三维测量仪(SETV)与计算机配套,天线均分成 100~300 个点,测试计算均方根偏差。采用红外成像检查夹层结构的胶接情况。卫星天线由于其特殊的功用,射频性能和机械等方面有较高的要求。北京卫星环境工程研究所通过空间模拟来测量天线的有关性能^[12],如用 moire 干涉测量法测材料的热膨胀系数。这是一种纯几何测量技术,在 24~149℃ 范围内测量负荷物迭片热膨胀精密而有效。用激光全息照相干涉来测试反射体表面部段与整体变形试验。同时要进行一次太阳模拟热真空试验来评价天线的热设计等,通过这些模拟测试确定天线的各方面性能。

4 小 结

从大量文献可以看出,尺寸较小的天线反射体可采用夹层结构,而于尺寸较大的反射体可采用夹层结构加加强筋和简易背架的结构。较多的文献均介绍了采用碳纤维/环氧树脂复合材料制得天线反射体的方案。模具一般用 Fe-Ni 系低膨胀铸铁或石墨树脂等材料制做模具。采用夹芯结构时,铝蜂窝比玻璃钢蜂窝刚性好,重量轻,且铝蜂窝在国内有成品供应,使用方便。表面保护层多用丙烯胺基甲酸乙脂类涂料或氟系树脂。

参考文献

- 1 李志军.先进复合材料在雷达天线技术中的应用研究特点与现状.陕西省电子学会第五届生产技术年会论文集,1995,5
- 2 F. Grimaldi. Development of dimensionally stable lightweight composite antenna structures. 34th international SAMPE symposium, 1987
- 3 机电布 10 所. 碳纤维增强复合材料应用及其基体材料的研究,1989
- 4 龚菊英.复合材料卫星天线抛物面反射面发生器的研制.第五届全国复合材料学术会议论文集,1988
- 5 李志军.先进复合材料在空间抛物面天线上的应用.通信与测控,1997(3)
- 6 颜万生.碳纤维复合材料天线反射面的研制.现代雷达,1999,6(22)
- 7 翁昌慧.多预埋件碳面板铝箔/铝蜂窝夹层结构气象卫星天线发射板的制造.92131 会议,1992
- 8 上海卫星工程研究所.风云一号卫星铝箔碳纤维铝蜂窝复合结构材料天线发射板.中国国防科学技术报告,1990
- 9 魏义.用复合材料和塑料做天线反射器的结构和工艺.通信和测控,1990(2)
- 10 沃西源.M40 石墨纤维/环氧 F46 复合材料弹性常数计算公式分析.玻璃钢学会第十二届全国玻璃钢/复合材料学术年会论文集
- 11 夏文干.先进复合材料天线反射器精度的国内外情况.高科技纤维与应用,25(6)
- 12 北京卫星环境工程研究所.卫星用大型天线空间环境模拟与试验技术的研究.中国国防科学技术报告,1086

CF COMPOSITE ANTENNA REFLECTOR

Xiao Daorong Jiang Wansong Gao Hongcheng
(Beijing FRP Research & Design Institute)

Abstract: The paper describes the developing situation of the antenna reflector at home and abroad and puts emphasis on the moulding process and present level in the research work.

Keywords: carbonfiber antenna reflector

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>