

# 先进复合材料在天线反射器上的应用研究国内外情况综述

国营黄河机器制造厂 夏文干 杨洁 (710043)

摘要: 本文通过查阅文献, 叙述了先进复合材料在天线反射器上的应用研究的国内外情况, 国外最高精度达到了 3.0~1.0 微米 r.m.s., 国内最高精度达到了 0.031~0.060mm r.m.s..

先进复合材料由于其具有高比强度、高比模量的特点, 其应用日趋广泛, 也是制造高精度天线的最有效的手段。迄今, 国内外对高精度天线的定义仍是天线轮廓度均方差 (r.m.s)  $\leq \lambda/100$ , 厘米波天线轮廓度均方差要求为  $10^{-1}$  量级, 毫米波天线均方差应为  $10^{-2}$  量级。国内外都在根据用途需要向高精度、超高精度发展, 我们大量查阅了 1964 年以来的资料文献, 现将有关情况介绍于后, 试图起到抛砖引玉的作用。

日本 NRD 公司研制了由 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]

日本 BS 和 CS 卫星地面站抛物面天线分别为 5m 和 3m 米, 分成 12 块和 6 块成型, 使用频率分别为 12~14GHz 和 20~30 GHz, 蒙皮为 CFRP, 铝蜂窝夹芯, BS 站天线反射面没有金属化, CS 站反射面喷铝, 天线精度为 0.11 和 0.2mm r.m.s. [2]

美国海用 SPS-10 天线由通用动力公司 Convair 分公司制造, 精度 0.071mm r.m.s. [1]

ESA (Europe Space Agency) 先后开发了副反射器口径分别为 1.1m、1.42m 的双色反射器 (Dichroic Antenna), 频率分别为 11.2 GHz 和 18.1 GHz, 蒙皮用 KFRP, Nomex 蜂窝芯, 表面精度 0.09mm r.m.s. [1]

法国电讯 1 号卫星天线长轴 1.37m, 短轴 0.8m, HMS/环氧面板, 0.2mm 厚, AG5 铝蜂窝夹芯, 边长 6mm, 芯高 25mm 天线精度 0.2mm r.m.s. [3]

考察报告指出 [4], 欧洲海事通信卫星抛物面天线口径 2m, HMS/环氧蒙皮 0.2mm 厚, 夹芯为 AG5 铝蜂窝, 边长 6mm, 芯高 25mm, 天线精度 0.2mm r.m.s.。同文中还介绍了国际通信卫星 VA 号承力筒, 阿拉伯通信卫星中心承力筒, 电信 1 号卫星天线、阿拉伯通信卫星接收天线及支架、西德直播卫星天线和法国直播卫星天线、一箭双星装置等用先进复合材料制作情况。

法国制作卫星天线使用 Invar 钢制作模具, 碳或石墨纤维和布环氧预浸料, 125℃ 固化, 也有 170℃ 固化的, 0.6~0.8Mpa 压力。制造精度用三维测量仪 (SEIV) 与计算机配

套, 天线均分成 100~300 个点, 测试计算均方根偏差。夹层结构构件采用红外成像检查胶接情况, 也有用超声波检测的。

ITAISAT 卫星通信系统天线反射器直径 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 6.25mm, 已生产 5 件, 天线轮廓度精度为 0.15~0.2mm r.m.s.。该文还介绍了反射器制作情况, 如, ITATSAT4.0m 反射器、印度 INSAT-I 多功能卫星天线、INTELSAT-VI 天线、Arabsat 卫星天线、ECS 通信卫星天线、下一代的 ESA Ku、Ka 波段天线研究, 成型情况, 除卡塞格伦天线采用 Kevlar 纤维环氧蒙皮、Nomex 芯外, 其余都是石墨或碳纤维/环氧蒙皮、铝蜂窝芯。<sup>[9]</sup>

英国 Marcon 公司,  $\Phi 3.05\text{m}$  旋转抛物面 GFRP 天线, 精度为 0.51~0.76mm r.m.s.。<sup>[9]</sup>

508 所研究制造了长轴 1100mm, 短轴 620mm 的偏置抛物面天线, 1K 平纹碳布两层 0.3mm 厚环氧蒙皮, 0.03 $\times$ 4 $\times$ 12mm 的铝蜂窝芯, j47 胶膜; 天线精度 0.205~0.365mm r.m.s.。<sup>[7]</sup>

20 所舰载卡氏天线, 口径 1.2 米, G/CFRP 混合蒙皮 0.2mm 厚, 玻璃钢蜂窝芯, 生产了 6 套, 合格率 83%,<sup>[9]</sup> 天线精度据介绍了解为 0.20~0.23mm r.m.s.。

1038 所椭圆抛物面天线 5.6 $\times$ 2.2m GFRP 及其夹芯, 天线精度 0.39mm r.m.s.。<sup>[9]</sup>

魏文根据国内外用复合材料和塑料制作反射器方面的最新研究成果, 较全面地介绍了用这类材料制作反射器的结构及工艺方法。文章中提到日本 45m 射电望远镜用 CFRP 反射器, 整个反射面型面精度达到 0.08mm r.m.s.; 法国 IRAM 公司三个口径为 15m 的抛物面天线反射面板用 CFRP/铝蜂窝芯夹层结构, 天线型面精度达到了 0.025mm r.m.s., 其成形模具为 Fe-Ni 系低膨胀铸铁 ( $\alpha$  为  $11\times 10^{-6}/\text{K}$ ) 和无定型石墨 ( $\alpha$  为  $4.8\times 10^{-6}/\text{K}$ ), 文章还指出了金属化方法。<sup>[9]</sup>

R.A.Stonier 介绍了用于海盗轨道飞行器的石墨/环氧天线的制造情况, 该天线为高增益天线, 其所用模具为熔凝的硅陶瓷泡沫块胶接而成, 其精度为 0.001 英寸 (0.025mm) r.m.s., 但未提供反射体的精度。

张惠丽介绍了大型复合材料卫星天线的制造技术, 文章重点讨论了意大利 Selenia 公司为欧空局制造 ASTP4m 直径碳纤维复合材料的大型卫星天线反射器制造技术, 包括天线结构、选材、模具及成形工艺, 以及模具对天线的影晌。模具材料为低膨胀铸铁, 模具精度为 0.065mm r.m.s., 反射器精度为 0.34mm r.m.s.。<sup>[11]</sup>

李志君撰文“先进复合材料在空间抛物面天线上的应用”,<sup>[12]</sup> 文章重点对国内外先进复合材料天线的研制与应用进行了介绍和比较, 国外应用讨论了“海盗号”火星轨道器、“旅行者”航天器、欧空局通信卫星、RCA 卫星的复合材料天线。文中提到美国 FCC 公司制造的天线型面精度为 0.08mm r.m.s.。文章还列举了国内研究成功的先进复合材料天线精度分别为 14 所 0.037mm r.m.s., 10 所 0.28mm r.m.s., 0.185mm r.m.s., 39 所 0.131mm r.m.s. 和 0.226mm r.m.s.。

敖辽辉介绍了碳纤维复合材料在天线上的应用情况,<sup>[13]</sup> 文章讨论了碳纤维复合材料天线的结构形式及天线制作材料选择、铺层设计、表面金属化等问题。文章提到德国 MBB 公司制作的 CFRP 天线, 型面精度小于 0.3mm r.m.s.。

颜万生等介绍了一种椭圆抛物面 (720 $\times$ 360mm) 碳纤维复合材料夹层结构天线的研究情况<sup>[14]</sup>, 玻璃布蜂窝芯浸渍热固性酚醛树脂, 芯边长 5mm, 高 7.8 $\pm$ 0.1mm, CFRP 面板,

采用酚醛-环氧、三氟化硼单乙胺基体, 170℃固化, CFRP 面板与蜂窝芯用 J47 胶胶接。文章认为, 碳纤维损耗大, 不能满足高性能雷达反射器, 故而采用直接喷涂铝合金。反射面精度为 0.13mm r.m.s., 其电性能与法国“黄蜂”天线一样, 但重量要轻得多。

Freeland R.E.等在轻型板状复合材料反射器文中介绍了 Hexel 公司生产的轻型板状复合材料反射器, 结构为石墨纤维/环氧复合材料蒙皮, 玻璃纤维蜂窝夹芯, 直径为 0.6m 的平板, 其表面精度达到了 3.0~1.0 微米 r.m.s.。<sup>[15]</sup>

Haylett J.W.等撰文讨论了毫米天线所用先进的石墨纤维增强复合材料情况。<sup>[16]</sup>

Kuo C.P.等讨论了高精度石墨纤维增强复合材料的热力学行为, 用该材料制造直径为 30 英寸的天线模型, 其表面精度达到了 0.003 英寸 (0.0762mm) r.m.s.。<sup>[17]</sup>

Tsuyuli 等介绍了一个亚毫米望远镜上用石墨纤维增强复合材料制作的分段主反射器的热力优化设计, 其直径为 3.65m, 蒙皮为石墨纤维/环氧复合材料, 夹芯为铝蜂窝芯, 主反射器的轮廓度误差为 4.5mm。<sup>[18]</sup>

Tompkins 等讨论了 NASA 研究中心研究的大型飞行器用各种复合材料, 对其性能进行了比较分析, 其中一个抛物面反射器用石墨纤维/酚醛蜂窝复合材料, 它的表面精度达到了 70.8 微英寸 (约 0.0018mm) r.m.s.。<sup>[19]</sup>

黄河机器制造厂研究并生产的 640×680mm 的轴不对称切角碳纤维/环氧复合材料反射体和天线, 碳纤维/环氧蒙皮, 铝蜂窝夹芯 (其反射面精度达到了 0.031~0.060mm r.m.s.), 转移法喷铝金属化。同时进行了纯碳纤维天线与金属化天线在 3cm 频段的电性能测试, 两者性能相近, 从而认为, 在一些频段碳纤维天线可以不金属化。<sup>[20]</sup>

综上所述, 我国复合材料反射器精度与国际先进水平相比, 还有相当差距。

#### 参考文献:

- [1] 李志君等 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 5 届生产技术年会论文集 1995.5
- [2] 应世杰 纤维增强塑料在卫星天线及卫星通信地面站天线反射体上的应用 电子工艺技术 1987.4
- [3] 敖辽辉 碳纤维复合材料在天线技术上的应用 电子产品胶合、灌封技术研讨会论文集 1997.11
- [4] 赵坚成 法国卫星复合材料结构及模块设计技术 考察报告 1985.5
- [5] F.Grimaldi DEVELOPMENT OF DIMENSIONALLY STABLE LIGHTWEIGHT COMPOSITE ANTENNA STRUCTURES 34th international SAMPE symposium May 8~11 1987
- [6] 机电部 10 所 碳纤维增强复合材料应用及其基体材料的研究 1989.7
- [7] 龚菊英 复合材料卫星天线抛物面反射器的研制 第五届全国复合材料学术会论文集 1988.11
- [8] 陆哲根等 舰载卡氏天线玻璃钢反射体成型工艺研究 电子产品胶合、灌封技术研讨会论文集 1997.11
- [9] 魏义 用复合材料和塑料做天线反射器的结构和工艺 通信与测控 1990.2

- [10] R.A.Stonier 用于海盗轨道飞行器的石墨/环氧天线的制造 运载火箭与返回技术  
1989.10[2]
- [11] 张惠丽 大型复合材料卫星天线的制造技术 航天返回与遥感 1994.15[4]
- [12] 李志君 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
- [13] 敖辽辉 碳纤维复合材料在天线上的应用 电讯技术 1998.38[2]
- [14] 颜万生等 碳纤维复合材料天线反射面的研制 现代雷达 Vol.21.1999.6
- [15] Freeland R.E.,Mcelrov P.M. Lightweight Composite Reflector Penneis  
NTIS(National Technical Information Service) 15 Aug.1988.
- [16] Haylett J.W.,Rottmayer, E.,Butcher,I. Advanced Composite Material Study for  
Millimeter Wavelength Antenna Vol.2. AD-893 3581
- [17] Kuo,c.p. Lou ,W.C.,Rapp D. Thermal-Mechanical Behavior of High  
Precision. Composite Materials 34th AIAA/ASME/AHS/ASC  
Structures Structure Dynamics,and Material Conference 19-22  
Apr.1993
- [18] Tsuyuki,Glem T.,Conen,Eri J. Thermal design Optimization of a Segmented  
GFRP Primary refeletor for submillimeter telescope The International  
Society for Optical Engineering V 1690 1992.
- [19] Tompkins,and others. Composite Material Society for Optical Engineering  
V 1690 1992.
- [20] 黄河机器制造厂碳纤维复合材料天线课题组 碳纤维复合材料天线在雷达天线上  
的应用研究(内部总结) 1999.12.

## 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,一直致力和专注于微波、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>