

某圆锥等角螺旋天线的制造技术

章英琴

(中国电子科技集团公司第 10 研究所, 四川 成都 610036)

摘要: 以双圆锥等角螺旋天线为例, 介绍了天线 CAD 模型的建立方法, 详细论述了圆锥等角螺旋天线的三种制造技术: 曲线掩膜法、微带粘接法和激光立体扫描曝光成像法。

关键词: 双圆锥等角螺旋天线; 制造技术; 激光立体扫描曝光成像

Abstract: In this paper, three kinds of manufacturing technology of a double-Cone Isometric Helical antenna : Cure hiding membrane technique, microwave felting technique and laser stereo scanner exposure imaging technique. The equation of antenna and 3-D model are provided.

Key word: double-Cone Isometric Helical antenna; Manufacture technology; laser stereo scanner exposure imaging

1 引言

随着航空、航天、通信技术的发展, 单一极化方式的天线已难以满足使用的要求, 圆极化天线的应用就显得十分重要。圆锥等角螺旋天线就是一种典型的圆极化天线, 与机械扫描天线和相控阵天线相比, 它有其突出的优点: 结构简单, 制造成本低。本文给出了双圆锥等角螺旋天线的 CAD 模型的建立方式和制造工艺方法。

2 圆锥等角螺旋天线 CAD 模型的建立

2.1 圆锥等角螺旋天线的结构形式

该螺旋天线为锥形结构形式, 由非金属锥体介质和环绕在锥体上的双螺旋金属带两部分组成。每条金属带的边界曲线的函数方程是同一曲线绕锥体旋转 90^0 得到, 相邻曲线之间形成金属带, 相互间隔的两条金属带形成天线。

2.2 圆锥等角螺旋天线的函数方程式

圆锥等角螺旋天线由两条金属带组成。

第一条金属带的函数方程式:

$$r_1 = r_0 e^{a\phi}$$

$$\Delta r = r_0 e^{a\phi} (e^{a\delta} - 1)$$

第二条金属带的函数方程式:

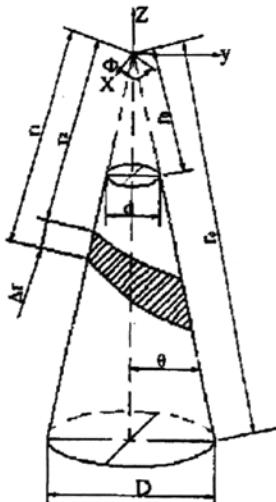
$$r_1 = r_0 e^{a(\phi-\delta_1)}$$

$$\Delta r = r_0 e^{a(\phi-\delta_1)} (e^{a\delta} - 1)$$

以上公式中, 参数 δ 为单条金属带上、下两条包络线之间的相位差; δ_1 为两条金属带之间的相位差; a 为常数系数, 其余参数见图 1。

2.3 圆锥等角螺旋天线 CAD 模型的建立

为了方便建模, 需要将上述模型函数方程式转换成直角坐标系的函数方程式, 具体建立过程如下:



r_1 为金属带线的上包络线矢经; r_2 为金属带线的下包络线矢经; Δr 为金属带线的线宽; r_0 为金属带线的起始点矢经; r_e 为金属带线的终止点矢经; ϕ 为金属带线的方位角; θ 为锥体的锥度角度; D 为锥体底端直径; d 为锥体顶端直径。

图1 天线结构参数示意图

$$\sin \theta = \frac{D}{2r_e} \quad (1)$$

$$\cos \theta = \frac{\sqrt{4r_e^2 - D^2}}{2r_e} \quad (2)$$

$$x = r_0 e^{a\theta} \sin \theta \cos \phi \quad (3)$$

$$y = r_0 e^{a\theta} \sin \theta \sin \phi \quad (4)$$

$$z = -r_0 e^{a\theta} \cos \theta \quad (5)$$

将公式(1)、(2)分别代入公式(3)、(4)、(5)，可得到金属带的函数方程式：
第一条金属带上包络线函数方程式：

$$x = r_0 e^{a\theta} \frac{D}{2r_e} \cos \phi \quad (6)$$

$$y = r_0 e^{a\theta} \frac{D}{2r_e} \sin \phi \quad (7)$$

$$z = -r_0 e^{a\theta} \frac{\sqrt{4r_e^2 - D^2}}{2r_e} \quad (8)$$

第一条金属带下包络线函数方程式是在第一条金属带上包络线函数方程式的基础上，相位角增加 δ 。

第二条金属带上包络线函数方程式在第一条金属带上包络线函数方程式的基础上，相位角增加 δ_1 。

第二条金属带下包络线函数方程式在第一条金属带上包络线函数方程式的基础上，相位角增加 $(\delta_1 + \delta)$ 。

应用UG/CAD软件建模，将参数代入各函数方程式，各参数如下： $r_0 = 38.25$ 、

$$r_e = 382.5, D = \phi 125, \delta = 90^\circ, \delta_1 = 180^\circ.$$

模型结构见图2。

3 圆锥等角螺旋天线的制造工艺方法

圆锥等角螺旋天线的制造工艺方法目前有多种，下面主要介绍以下三种工艺方法：曲线掩膜法、微带粘接法和激光立体扫描曝光成像法，分别介绍如下。



图 2 天线模型结构图

3.1 曲线掩膜法

曲线掩膜法是在非金属锥体介质的表面，首先化学沉积一金属铜层，然后用电镀的方法将金属铜层加厚，同时以天线带线的边缘曲线加工出分界线槽，对需要的金属层用显影型抗蚀刻油墨 PER-15SC1550 进行保护，形成保护膜，该油墨耐酸不耐碱，然后通过化学腐蚀的方法将未被保护的金属去掉，而在保护膜下的金属被保留下。最后用手工去膜，便得到了圆锥等角螺旋天线。

曲线掩膜法制造工艺路线如图 3 所示。

曲线掩膜制造工艺方法的关键在于金属铜层的附着力，分界线槽的加工精度，以及加工分界线槽的切削力问题。金属铜层的附着力与基材的致密性关系很大，因非金属锥体介质是采用敷制而成，其致密性总是受到一定的限制，为了解决金属铜层的附着力问题，在非金属锥体介质上涂覆一层环氧树脂，解决了附着力问题；我们采用了 MIKRON UCP710 高速五轴联动机床加工分界线槽，选用 UG/CAM 软件进行数控编程，能够确保天线的尺寸精度要求；经过多次工艺试验，选用直径为 1mm 的直柄立铣刀，主轴转速 16000rpm，切削深度 0.05mm 的工艺参数，解决了切削力的问题，防止了加工分界线槽时金属铜层剥离；该工艺方法在某通信侦察载荷天线的制作上进行了应用，天线经测试各项性能指标满足设计要求。

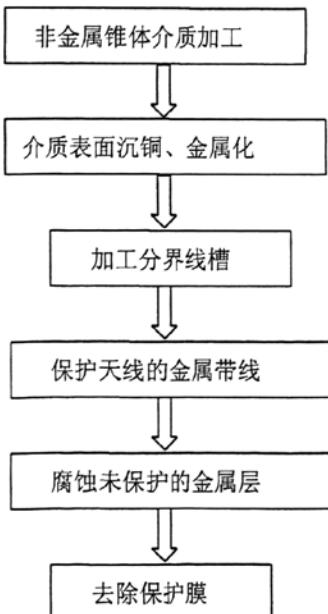


图 3 曲线掩膜法制造工艺路线图

3.2 微带粘接法

微带粘接法是采用薄且质地柔软的单面覆铜微带板，经光刻腐蚀成规定的天线金属图案，将金属图案卷绕在非金属锥体介质上形成圆锥等角螺旋天线。

按图 1 天线结构参数示意图，沿

$\phi = 0^\circ$ 的方向剖开，展开成平面形式，见图 4。

微带粘接法制造工艺路线如图 5 所示。



图 4 微带粘接法展开图

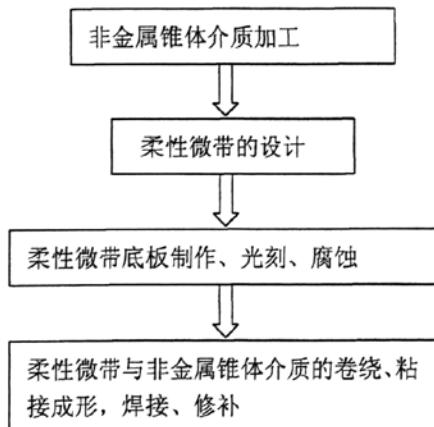


图 5 微带粘接法制造工艺路线图

微带粘接制造工艺方法的关键在于确保微带线的定位和粘接精度，以及焊接的控制。该工艺方法能保证天线的尺寸精度，且制作工序少，成本较曲线掩膜法低，该工艺方法已在试验样件上进行了应用，目前在正式产品上还没有成功应用，下一步还需要进行工艺研究，解决微带线的定位精度、粘接精度和带线的焊接精度等技术难题。

3.3 激光立体扫描曝光成像法

激光立体扫描曝光成像法是在非金属锥体介质的表面，首先化学沉积一金属层，然后用电镀的方法将金属层加厚。同时在金属层上涂一层热固化高分子材料；当激光扫描天线的图形时，高分子材料受热固化而形成薄膜，覆盖在金属层的表面，未被激光照射的高分子材

料没有固化，可以用乙醇等有机溶剂将其擦掉，露出金属层。然后通过化学腐蚀的方法将未被掩膜的金属去掉，而在膜下的金属被保留下。最后用环己酮溶剂去膜，便得到了圆锥等角螺旋天线。

用这一工艺方法制作的圆锥等角螺旋天线，要求金属层的厚度、热固化高分子材料的厚度以及激光的功率密度必须相互匹配。如果热固化高分子材料涂得太薄，则有可能使形成的固化膜出现空隙，在去除金属镀层时会造成微带天线金属图形的损坏。若热固化高分子材料涂得太厚而激光的功率密度不够时，则会造成局部的热固化不完全，使形成的膜不能有效地保护金属图形，同样会影响微带天线的质量。目前我们采用的工艺条件是：金属层厚度 $2.5\mu m$ ，热固化高分子材料的厚度 $20\mu m$ 左右，激光功率密度为 $1.6KW/mm^2$

采用激光立体扫描曝光成像法制作的圆锥等角螺旋天线，可以在任意曲面上制作所需的图形；应用激光立体扫描曝光成像法制作的圆锥等角螺旋天线具有良好的一致性，且制作精度较高，目前该工艺方法制作的圆锥等角螺旋天线已在某工程上进行了成功应用，经电性能测试天线驻波比、圆极化轴比等各项性能指标均满足设计要求，取得了很好的效果。

4 结论

上述圆锥等角螺旋天线的三种制造工艺方法：曲线掩膜法、微带粘接法、激光立体扫描曝光成像法，通过工艺试验，制作出来的天线经过测量都能满足天线的尺寸精度要求，其中激光立体扫描曝光成像工艺方法制造精度高、一致性好、加工周期短。

参考文献

1. [1]叶匀分 朱荣林. 激光在曲面微带天线制作中的应用 中国激光, 第 30 卷第 4 期: 2003, (4) : 361 ~ 363
2. 武斌功. 一种全向天线的制造工艺技术[J]. 电子机械工程, 第 19 期第 5 卷 2003, (5): 34 ~ 36
3. 苗春杰编著. 高级铣加工应用教程[M]. 清华大学出版社, 2002, 6

作者简介

章英琴（1976—）男，安徽枞阳人，工程师，毕业于合肥工业大学，机械制造工艺及设备专业，目前主要从事电子设备工艺技术研究。联系方式：13666197779 028-87555603 通信方式：四川省成都市 94 信箱 20 分箱

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>