

微带相控阵天线罩曲面造型设计

华东电子工程研究所工艺部 武斌功
安徽省合肥市 9023 信箱 68 分箱 230031

内容摘要：本文提供了不规则曲面天线罩三种不同的造型方法，本方法具有一定的通用性，并给出了造型模型图

一、引言

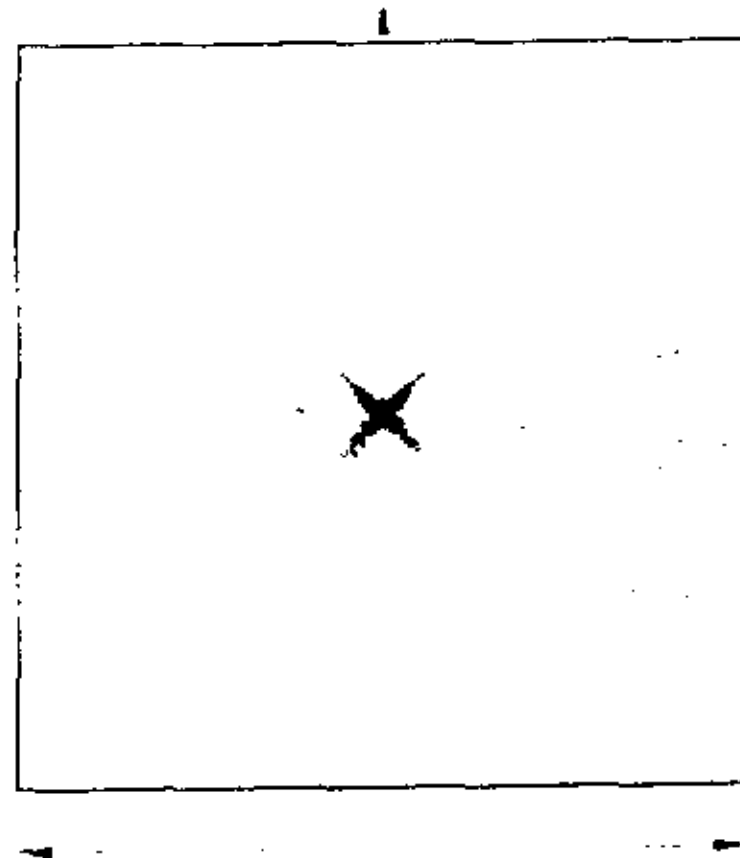
结构尺寸要求：天线罩口面呈矩形，罩顶呈近似截球形，且内外表面光滑连续无突变，美观，内口面尺寸：2300mm X 2300mm，罩的曲面高度：305mm，总高度：400mm，罩壁厚 $3.5 \pm 0.1\text{mm}$ ，要求均匀一致；电讯指标要求： $\epsilon = 4.0 \pm 0.1$ ， $\tan \delta \leq 0.015$ 。

二、造型设计

1、用数学模型进行造型设计

1.1、固定球面过渡法

造型方法俯视图见图一。



图一：固定球面过渡法俯视图

设天线罩的口面尺寸分别为 a 、 b ，罩的曲面高度为 h ，顶部截球形的曲面半径为 r_1 ，假想用一平面垂直于罩底面并经过球面的球心进行切割，外曲面截面的曲线见图二，在底面上的投影线为 P_1P_2 ，见图三，随 θ 值的不同，计算公式将有所不同，考虑到计算的方便性，应选用柱面坐标系。

(1)、球面半径 r_1 的求解

假设 r_1 为固定值， $a \leq b$ ，且当 $\theta = 0^\circ$ 时满足下式，

$$(r_1 - h)^2 - \frac{1}{4}a^2 = r_1^2$$

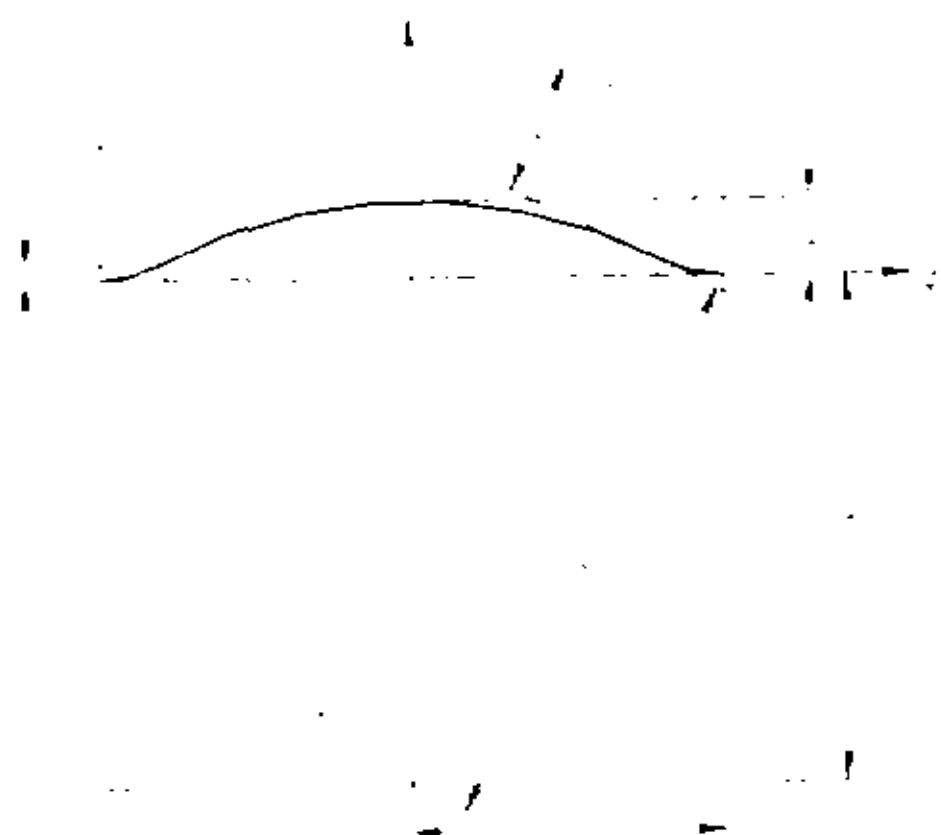
$$r_1^2 - 2hr_1 + h^2 - \frac{1}{4}a^2 = r_1^2$$

$$r_1 = \frac{1}{2}h + \frac{1}{8h}a^2 \quad ①$$

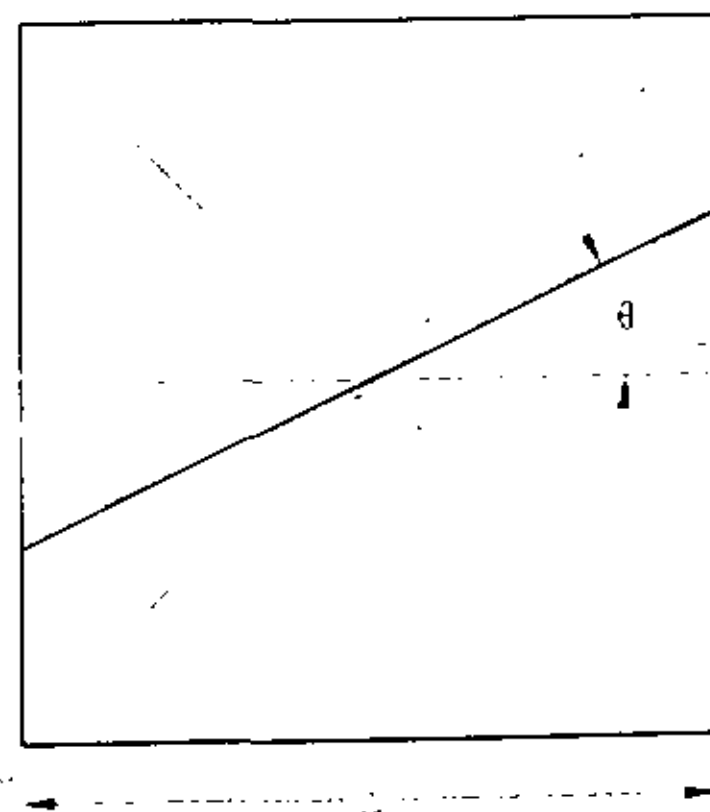
(2)、求 d

由图二可知, r_1 为定值, d 同样也为定值, 由式①得

$$d = r_1 - h = \frac{1}{8h}a^2 - \frac{1}{2}h \quad ②$$



图二、外曲面廓线图



图三、底面外围线的俯视图

(3)、求 l

由图三可知,

$$\begin{cases} l = \frac{a}{2 \cos \theta} & \theta \in ([-\angle POD, \angle POB], [-180^\circ - \angle POD, 180^\circ + \angle POB]) \end{cases} \quad ③$$

$$\begin{cases} l = \frac{b}{2 \sin \theta} & \theta \in ([90^\circ - \angle QOB, 90^\circ + \angle QOA], [270^\circ - \angle QOB, 270^\circ + \angle QOA]) \end{cases} \quad ④$$

(4)、求 r

由图二可知,

$$(d-r)^2 + l^2 = (r+r_1)^2$$

整理得:

$$r = \frac{d^2 + l^2 - r_1^2}{2(r_1 - d)}$$

将①式代入上式得:

$$r = \frac{d^2 + l^2 - (\frac{1}{2}h + \frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{8h}a^2 - \frac{1}{2}h - d)} \quad ⑤$$

(5)、求 C

由图二可知:

$$\frac{r-c}{r+d} = \frac{r}{r+l}$$

整理得:

$$c = \frac{r(r-l-d)}{r+l}$$

将①、⑤式代入上式得:

$$c = \frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)}}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} \left(\frac{1}{2}h + \frac{1}{8h}a^2 - d \right) \left(\frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} - \frac{1}{2}h - \frac{1}{8h}a^2 \right) \quad (6)$$

(6)、数学模型的建立

由图二可知:

$$\begin{cases} (z-r)^2 + (R-l)^2 = r^2 & z \in [0, c] \\ (z+d)^2 + R^2 = r^2 & z \in [c, h] \end{cases}$$

将式①、②、⑤、⑥代入上式得:

$$\begin{cases} \left(z - \frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)}}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} \right)^2 + (R-l)^2 = \left(\frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)}}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} \right)^2 & z \in [0, c] \quad (7) \\ \left(z + \frac{1}{8h}a^2 - \frac{1}{2}h \right)^2 + R^2 = \left(\frac{1}{2}h + \frac{1}{8h}a^2 \right)^2 & z \in [c, h] \quad (8) \end{cases}$$

其中 c, r, l 的值为:

$$\begin{cases} 0 \in [0^\circ, 360^\circ] \\ c = \frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)}}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} \left(\frac{1}{2}h - \frac{1}{8h}a^2 - d \right) \left(\frac{\frac{d^2+l^2-(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2)^2}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)}}{2(\frac{1}{2}h+\frac{1}{8h}a^2-d)} + \frac{1}{2}h + \frac{1}{8h}a^2 \right) \\ l \text{ 的值由式(3)或(4)求得,} \end{cases}$$

(7)、实体造型

由上面的数学模型进行造型的造型实体见图四, $a=b=2300\text{mm}$, $h=305\text{mm}$, 下面接的六面体壳体尺寸为: $2300\text{mm} \times 2300\text{mm} \times 95\text{mm}$ 。

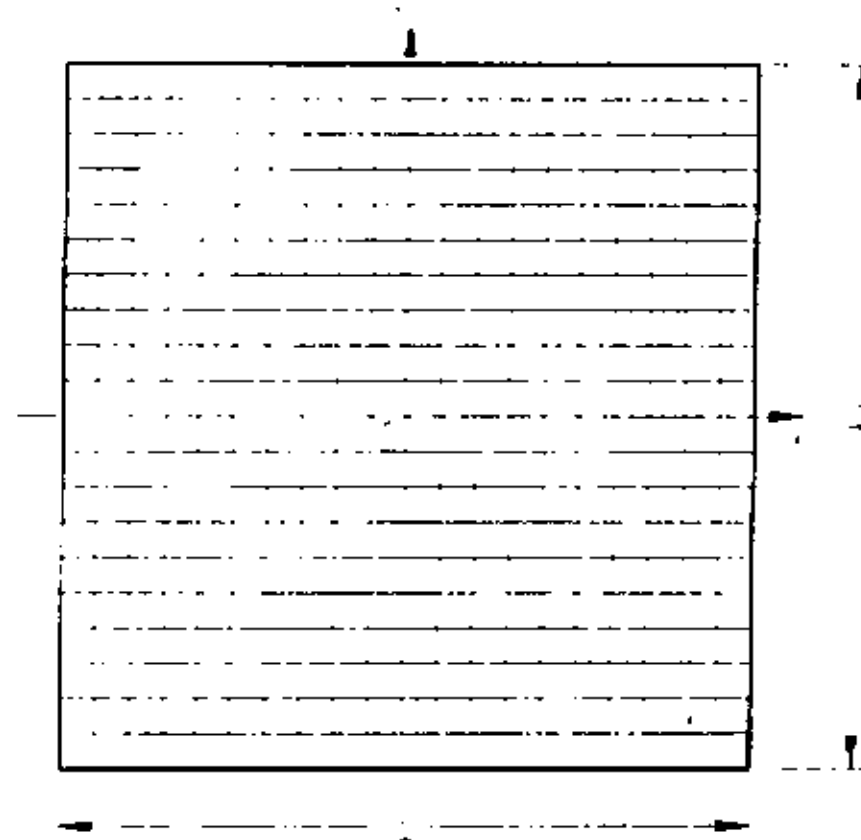
1.2 平行轴线法

造型方法俯视图见图五, 设天线罩的口面尺寸分别为 a, b, h 的假设条件与固定球面过渡法相同。假想用一平面垂直于罩底面并且平行于 X 或 Y (这里假设平行于 Y 轴且 $Y=0$) 进行切割, 外曲面截面的曲线见图六, 在底面上的投影线为图七 $P3P4$ 线; 设任意一切割面在底面上的投影线为 $P1P2$, 见图七, 用不同 X 值的面进行切割, 其弧线均不同, 考虑到计算的方便性, 选用直角坐标系, 现作如下假设:

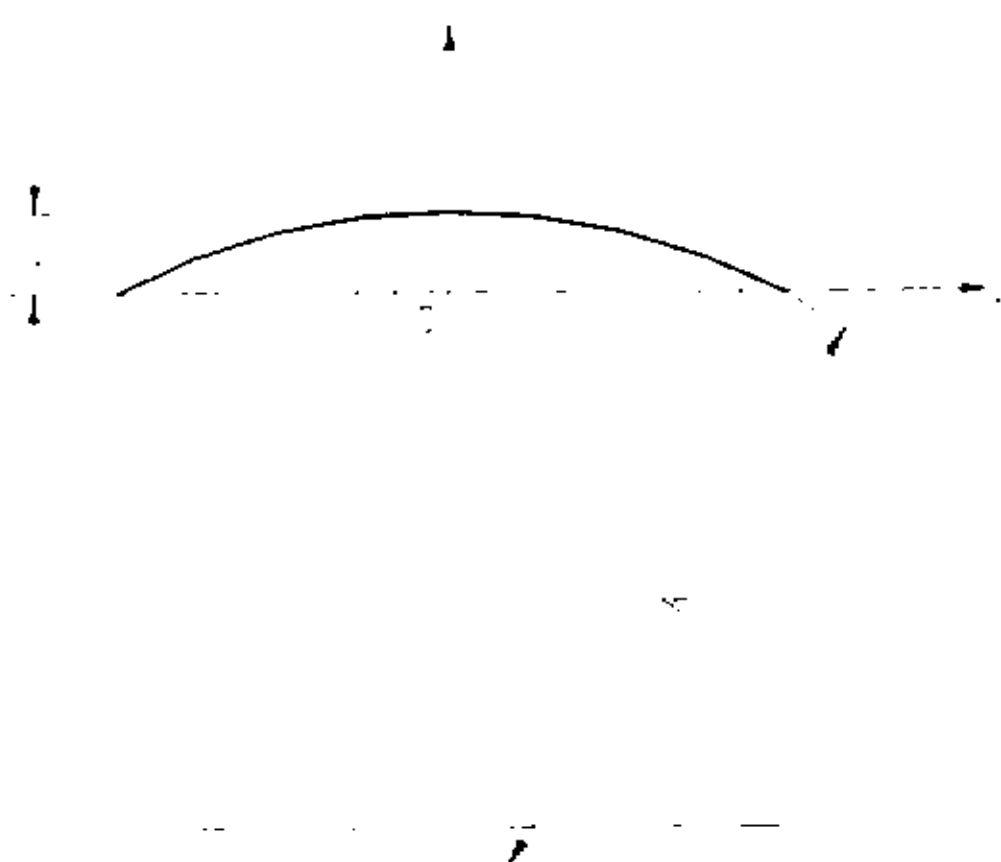


图四：固定球面过渡法造型图

有一 $Y=0$ 的面切割弧面与曲面的交线为一弧线 (P3P4)，设该弧线为半径为常数 R 的定圆弧，另一组平行于 Y 轴的所有截面的外侧面也为圆弧，并与 P3P4 相交，圆弧半径可变，设为 r 。



图五：平行轴线法造型俯视图

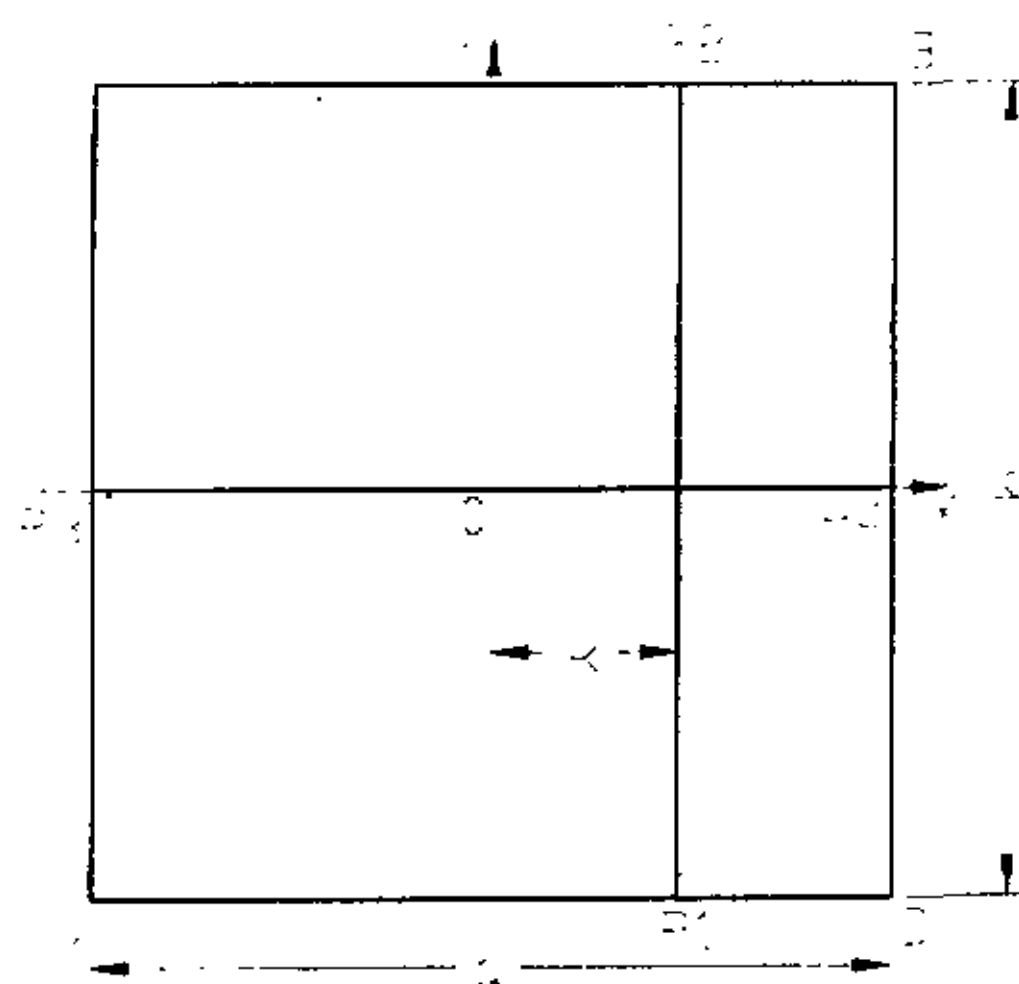


图六、外曲面廓线图

外曲面方程求解方法如下：

(1)、求线 P3P4 的曲线方程：

a)、求 R



图七、底面外围线的图形

由图七知: $(R-h)^2 + \frac{1}{4}a^2 = R^2$

由上式求得 R 值为: $R = \frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h$ (1)

b)、求线 P3P4 的曲线面方程

由图七, 图六和(1)式可求得曲线方程如下:

$$\begin{cases} (z + \frac{1}{8h}a^2 - \frac{1}{2}h)^2 + x^2 = (\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 & x \in [-\frac{1}{2}a, \frac{1}{2}a] \\ y=0 \end{cases} \quad (2)$$

(2)、求线 P1P2 的曲线方程:

为求得 P1P2 的截面廓线方程, 作如下假设:

$x=x_1$ && $y=0$ 时的 z 值为 k, 曲线的曲率半径为 r。

a)、求 r

求法与求 R 类似, 参考图六和图七, r 值为:

$$r = \frac{1}{8k}b^2 - \frac{1}{2}k \quad (3)$$

b)、求线 P1P2 的曲线面方程

由图七, 图六和(3)式可求得曲线方程如下:

$$\begin{cases} (z - \frac{1}{8k}b^2 - \frac{1}{2}k)^2 + y^2 = (\frac{1}{8k}b^2 + \frac{1}{2}k)^2 & y \in [-\frac{1}{2}b, \frac{1}{2}b] \\ x=x_1 \end{cases} \quad (4)$$

(3)、数学模型的建立

由(2)式可求得 z 值:

$$z = \sqrt{(\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 - x^2} - \frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h \quad (5)$$

将(5)式求得的 z 值付与 k 并代入(4)式得

$$\begin{cases} (z + \frac{b^2}{8(\sqrt{(\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 - x^2} - \frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)} - \frac{1}{2}\sqrt{(\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 - x^2} + \frac{1}{16h}a^2 - \frac{1}{4}h)^2 + y^2 = \\ (\frac{b^2}{8(\sqrt{(\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 - x^2} - \frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)} + \frac{1}{2}\sqrt{(\frac{1}{8h}a^2 + \frac{1}{2}h)^2 - x^2} - \frac{1}{16h}a^2 + \frac{1}{4}h)^2 \\ y \in [-\frac{1}{2}b, \frac{1}{2}b] \\ x \in [-\frac{1}{2}a, \frac{1}{2}a] \\ z \in [0, h] \end{cases} \quad (6)$$

(4)、实体造型

$a=b=2300\text{mm}$, $h=305\text{mm}$, 造型图见图八。

图八：平行轴线法造型图

图九：CAD 工作站软件造型图

2、利用 CAD 工作站软件进行造型设计

造型方式采用

综合上面方法 1 和方法 2 的造型方法，参考图一和图五，两对角线的曲线采用上面造型方法 1， $x=0$ 截面和 $y=0$ 截面与曲面的交线上面方法 2，利用这四条线作为基础线在 I-DEAS Master Series 工作站上进行造型设计，造型图见图九。

三、结论

综合上面三种造型方法有着共同的优点：曲面过度光滑，造型实体的效果好，其造型方法具有较强的通用性，各自的特点主要体现在以后的成型模胎设计与加工方面。方法 1 和方法 2，在模胎的数控加工中的刀具轨迹只能按造型设计数学模型方程生成刀具轨迹，方法 1 刀具轨迹的计算较方法 2 麻烦；方法 3 中的曲面方程及其拟合方式，用户不会知道，但在模胎的数控加工中刀具轨迹可在 CAD/CAM 后处理软件中直接生成，比较适合数控加工。

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),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>