

# Ka 波段 E 面和 H 面 90°弯接头的设计

庞利娥 孙有为 廖虚舟

(西安电子工程研究所 西安 710100)

**【摘要】** 详细介绍 Ka 波段 E 面和 H 面弯接头的设计过程。该弯接头体积小、重量轻、性能良好,可广泛用于 8mm 弯波导的设计之中。

**关键词:** 驻波系数 E 面弯接头 H 面弯接头

## 1 引言

当空间受到限制而无法使用弯曲半径比较大的弯曲波导时,往往采用切角波导。我们都知道:切角波导对切角的尺寸要求很严格,且所设计的切角波导频带窄,电压驻波比不稳定。为了解决这个问题,设计一种弯曲半径小和性能稳定的 8mm 波导弯曲接头就显得尤为重要。本文介绍的弯接头在频率 26.4—40GHz 时,驻波系数不超过 1.1。

## 2 设计计算

### 2.1 E 面变曲半径计算

E 面弯曲波导是由一段矩形直波导与一段矩形 E 面圆弧波导相连接而成。矩形直波导中传输的是 TE<sub>10</sub> 模,而矩形圆弧波导中传输的是另一种模式,故两者连接处将有截止的高次模出现。这些高次模的影响可用一个集总元件串联电容来表示,如图 1 所示。

由图(1)可知: $Z_L = Z_o' - jX$

$$\gamma = \frac{Z_L - Z_o}{Z_L + Z_o} = \frac{Z_o' - jX - Z_o}{Z_o' - jX + Z_o}$$

$$= \frac{\frac{Z_o'}{Z_o} - j \frac{X}{Z_o} - 1}{\frac{Z_o'}{Z_o} - j \frac{X}{Z_o} + 1}$$

令  $h = Z_o' / Z_o$ ,  $P = X / Z_o$ , 则  $\gamma = (h - jP - 1) / (h - jP + 1)$

$$|\gamma| = \frac{\sqrt{(h^2 + p^2 - 1)^2 + 4p^2}}{(h + 1)^2 - p^2}$$

$$\rho = \frac{1 + |\gamma|}{1 - |\gamma|} = \frac{(h + 1)^2 - p^2 + \sqrt{(h^2 + p^2 - 1)^2 + 4p^2}}{(h + 1)^2 - p^2 - \sqrt{(h^2 + p^2 - 1)^2 + 4p^2}} \quad (1)$$

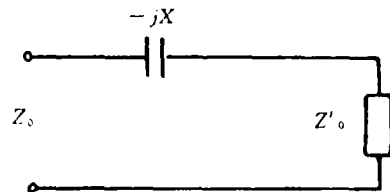


图 1 E 面弯曲等效电路

• 本文于 1996 年 2 月 30 日收到

根据理论计算<sup>[1]</sup>,有如下关系:

$$h = \frac{Z'}{Z_0} = \frac{\lambda_g E}{\lambda_g} = 1 + \frac{1}{12} \left(\frac{b}{R}\right)^2 \left[ \frac{1}{2} - \frac{1}{5} \left(\frac{2\pi b}{\lambda_g}\right)^2 \right] \quad (2)$$

$$\rho = \frac{X}{Z_0} = \frac{32}{\pi^4} \left(\frac{2b}{\lambda_g}\right)^3 \left(\frac{b}{R}\right)^2 \quad (3)$$

式中  $\lambda_g$  为直波导的  $TE_{10}$  模波导波长,  $Z_0$  是其特性阻抗,  $\lambda_g E$  是  $E$  面圆弧波导的主模波导波长,  $Z_0'$  是其特性阻抗,  $R$  是  $E$  面弯曲波导的平均半径,  $b$  是波导窄边尺寸。

把(2)式和(3)式代入(1)式,就得到了驻波系数  $\rho$  与弯曲半径  $R$  和波导波长  $\lambda_g$  的关系式(略)。

用计算机对  $\rho$  与  $R$  和  $\lambda_g$  的关系式进行详细的迭代分析计算,最后得到如下结论:在波导尺寸和弯曲半径不变时,频率愈高,驻波系数就越大。因此,在求弯曲半径时,只要保证频率高端满足驻波要求,则整个频带都能满足要求。

根据微波传输线的一般设计要求,在频率为 26.4—36GHz 范围内,  $\rho \leq 1.1$ 。

令  $\rho = 1.1$ , 频率  $f = 40\text{GHz}$ 。由  $\rho$  与  $R$  和  $\lambda_g$  的关系式求得  $R = 3.78\text{mm}$

## 2.2 H 面弯曲半径计算

$H$  面弯曲波导由一段矩形直波导与一段矩形  $H$  面圆弧波导相连接而成。矩形直波导中传输的是  $TE_{10}$  模,而矩形圆弧波导中传输的是另一种模式,故两者连接处将有截止的高次模出现。这些高次模的影响可用一个集总件并联电感来表示,如图 2 所示。

由图 2 可知:

$$Y_L = Y_0' - jB$$

$$\gamma = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} = \frac{\frac{1}{Y_0' - jB} - \frac{1}{Y_0}}{\frac{1}{Y_0' - jB} + \frac{1}{Y_0}} = \frac{\frac{1}{Y_0'} - j\frac{B}{Y_0}}{\frac{1}{Y_0'} - j\frac{B}{Y_0} + 1}$$

$$\text{令 } h' = Y_0' / Y_0, P' = B / Y_0$$

$$\gamma = \frac{\frac{1}{h' - jP'} - 1}{\frac{1}{h' - jP'} + 1} = \frac{h' - jP' - 1}{h' - jP' + 1}$$

$$|\gamma| = \frac{\sqrt{(h'^2 + P'^2 - 1)^2 + 4P'^2}}{(h' + 1)^2 - P'^2}$$

$$\rho = \frac{1 + |\gamma|}{1 - |\gamma|} = \frac{(h' + 1)^2 - P'^2 + \sqrt{(h'^2 + P'^2 - 1)^2 + 4P'^2}}{(h' + 1)^2 - P'^2 - \sqrt{(h'^2 + P'^2 - 1)^2 + 4P'^2}} \quad (4)$$

根据理论计算<sup>[1]</sup>,有如下关系式:

$$h' = \frac{Y_0'}{Y_0} \approx 1 + \left(\frac{a}{R}\right)^2 \left(\frac{\pi^2}{120}\right) \quad (5)$$

$$\rho' = \frac{B}{Y_0} \approx \frac{\lambda_g}{a} \frac{64}{81\pi^4} \left(\frac{a}{R}\right)^2 \left[ 1 - \frac{1}{3} \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2 \right] \sqrt{1 - \left(\frac{a}{\lambda}\right)^2} \quad (6)$$

式中  $\lambda_g$  为直波导的  $TE_{10}$  模波导波长,  $Y_0$  是其特性导纳,  $\lambda_g H$  是  $H$  面圆弧波导的主模波导波长,  $Y_0'$  是其特性导纳,  $R$  是  $H$  面弯曲波导的平均半径,  $a$  是波导宽边尺寸。

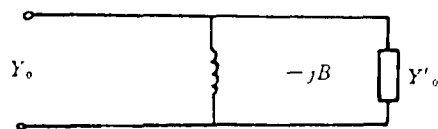


图 2  $H$  面弯曲等效电路

把(5)式和(6)式代入(4)式,就得到了驻波系数 $\rho$ 与弯曲半径 $R$ 、工作波长 $\lambda$ 和波导波长 $\lambda_g$ 的关系式(略)。

用计算机对 $\rho$ 与 $R$ 、 $\lambda$ 和 $\lambda_g$ 的关系式进行详细的迭代分析计算,最后发现:当频率在26.4—40GHz范围内时,频率对驻波系数的影响很小。因此,在求弯曲半径时,只要保证中心频率满足驻波要求,则整个频带都能满足要求。

根据微波传输线的一般设计要求,在频率为26.4—40GHz范围内, $\rho \leq 1.1$ 。

令 $\rho = 1.1$ ,频率 $f = 33.2\text{GHz}$ 。由 $\rho$ 与 $R$ 、 $\lambda$ 和 $\lambda_g$ 的关系式解得 $R = 6.06\text{mm}$

### 3 结构设计

因为弯曲半径比较小,用钢带和滚珠等手段都难以使波导弯曲成90°。因此,在结构设计时,选用精密铸造方法可以成形的一体结构。8mm弯接头结构示意图如图(3)所示。

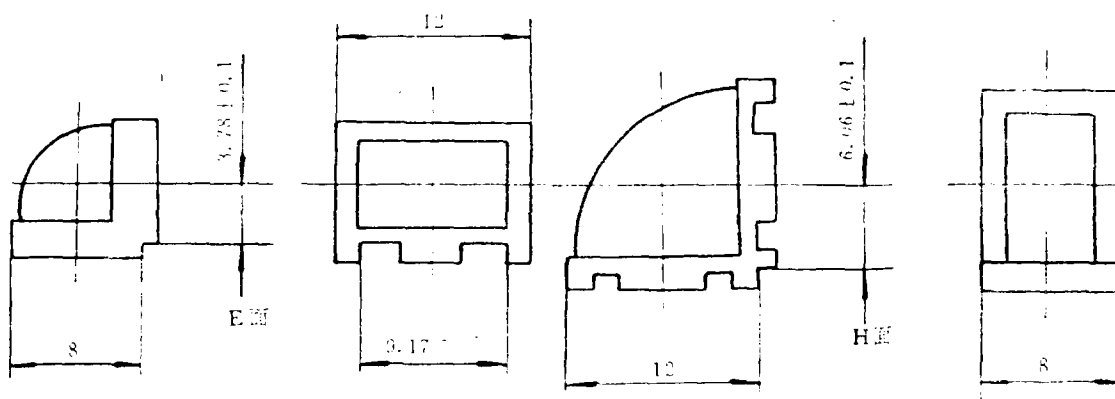


图3 8mm弯接头结构示意图

从图3可以看出:要形成弯波导,必须把弯接头与矩形波导连接起来。为了保证连接处的强度和对接良好,专门设计了加大接触面面积的定位台阶。材料选用易焊接的铸铝401。

为了保证弯接头的电气指标,内表面粗糙度不低于1.6,内表面也不允许有裂纹和砂眼。

### 4 测试结果

使用微波网络分析仪测试单弯波导,测试结果与计算结果吻合很好。E面弯接头的驻波系数如表1所示。H面弯接头的驻波系数为1.09。

表1 E面弯接头测试结果

f(GHz)	26.5	28	29.5	31	32.5	34	35.5	37	38.5	40
$\rho$	1.01	1.02	1.02	1.03	1.03	1.05	1.08	1.07	1.08	1.1

(下转第30页)

显示内存区即可。另外,程序中还采用了西文图形状态下写汉字的技术。即首先读入汉字内码,根据内码计算出汉字在字库中的位置,然后读出汉字字模,将汉字字模写入显示内存即可。在各种交互输入界面的设计上,采用了独立的通用模块,以达到光标移动提示输入项的目的。每级数据输完后,均需选择确认项才予以采用。在确认前,所输入数据均可任意更改。

b. 各个程序模块均具有良好的出错保护功能。它可自动检查用户输入参数的合理性,以避免用户不慎输入不合理参数引起错误的计算结果。例如,应保证模数,齿数,精度,轴径,轴长,分度圆直径和中心距等均应大于零或在合理的数据范围内。如果输入参数有误,则程序自动检查识别并且提示用户按任意键返回,重新输入正确的原始数据。

c. 在程序的计算部分,充分利用了C语言提供的指针,函数,数组等功能,大量灵活地使用了C语言提供的库函数。另外,尽量作到自编函数,数据库多处共用,以使得程序简洁和清晰。全部程序共有主函数和16个自编函数构成。

d. 由于该程序采用了TurboC程序设计技术,故它具有较高的代码效率、兼容性和可移植性。该程序系运行于DOS环境下的实模式程序,对硬件和软件无特殊要求,只要能够运行直接写屏的汉字系统即可。

#### 4 结束语

以上简要介绍了我们开发的齿轮传动系统分析软件。本软件目前已得到初步试用,证明能大大加快计算速度,提高设计质量。我们希望今后通过应用,对此软件不断完善和改进。

#### 参 考 文 献

- [1] SJ2257—84. 小模数渐开线圆柱齿轮传动链精度计算方法
- [2] GB3480—83. 渐开线圆柱齿轮承载能力计算方法
- [3] 龚振邦. 回差的统计计算. 上海科学技术大学
- [4] 谭浩强. C 程序设计. 清华大学出版社
- [5] 利用线性函数显示汉字. PC WORLD CHINA 5/94

=====

(上接第23页)

#### 5 结束语

该弯接头可广泛用于8mm的各种弯波导的设计之中,现已在某些产品中使用,性能良好。其计算方法也可用于其它频段的波导弯接头设计。

#### 参考文献

- [1] 吴万春等. 微波网络及其应用. 国防工业出版社