

## 环板行波管相互作用区的热分析

宫玉彬, 覃志东, 王文祥, 蓝永海, 黎晓云

(电子科技大学物理电子学院, 四川成都 610054)

**摘 要:** 本文运用热力学方法对环板行波管相互作用区进行了详细的热分析, 首先由热传导方程导出了求解热传导率随温度改变的部件温升的方程. 为求解该方程, 详细分析了各部件的几何因子, 在此基础上, 近似考虑界面热阻, 给定单位轴向长度的耗散功率和几何参量, 对各部件温升和环上的最高点温度进行了详细的数值模拟, 分析了热的和几何的参量对环板行波管热状态的影响. 本文的工作有益于环板行波管的设计, 并可以推广到环板慢波系统的变态结构.

**关键词:** 环板行波管; 相互作用区; 热分析

**中图分类号:** TN124

**文献标识码:** A

**文章编号:** 0372-2112 (2002) 12-1848-05

### Thermal Analysis of the Ring-Plane TWT in the Interaction Area

GONG Yu-bin, QIN Zhi-dong, WANG Wen-xiang, LAN Yong-hai, Li Xiao-yun

(School of Physical Electronics, University of Electronic Science & Technology of China, Chengdu, Sichuan 610054, China)

**Abstract:** The thermal behavior of the ring-plane TWT in the interaction area was analyzed by means of the thermodynamic method. The geometric factor, which describes the thermal resistance of the structure for constant thermal conductivity, was defined by solving the heat conduction equation. Starting from the definition of the geometric factor and taking the interface heat resistance into account approximately, the actual temperature rising of all assemblies of the TWT was calculated under the case of that the thermal conductivity varies with the temperature. Making use of the numerical results, the maximum temperature was also given in this paper. The influences of the thermal and geometrical parameters on the heat behavior were discussed. The results presented here are beneficial to the design of the ring-plane TWT.

**Key words:** ring-plane travelling wave tube; interaction area; thermal analysis

## 1 引言

热传导能力是限制行波管进一步提高功率容量的重要因素, 如何提高其热传导能力, 获得尽可能高的功率输出, 是行波管设计过程中必须解决的重要课题.

现在, 国内外对提高螺旋线行波管的散热能力已做了大量的工作<sup>[1~6]</sup>, 文献[1,2]利用热力学方法对散热问题进行了理论研究, 文献[3]利用实验的方法获得热损耗的实验数据, 文献[4]考虑了材料热传导率随工作温度的变化, 针对几何形状均匀的矩型截面夹持杆的情况进行了研究, 发展了一种计算周期永磁聚焦螺旋线结构温升的新方法, 这些研究都取得了良好的效果.

环板行波管是一种在毫米波段具有很好应用前景的器件, 针对环板结构及其变态的导波特性, 已进行了深入的理论和实验研究, 并提出了许多增加带宽、提高耦合阻抗的方法<sup>[7,8]</sup>, 为进一步提高器件的功率容量, 有必要对环板结构的热状态进行分析, 本文针对其全金属结构的特点, 就其各个组件的热传导率和几何参量对环板结构温度的影响作了详尽的

理论分析, 并给定耗散功率, 进行数值模拟, 得到许多有益的结论.

## 2 温升计算方法

周期永磁聚焦环板行波管相互作用区如图1所示. 由于管内部是真空, 不存在热对流, 同时, 假设环的热辐射可忽略, 所以, 热量由环经支撑板、屏蔽筒、PPM结构传导到外部散热器.

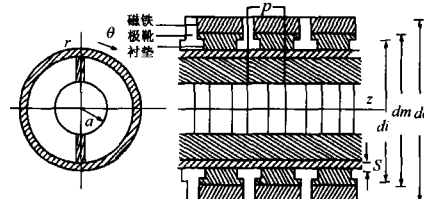


图1 PPM结构环板行波管结构图

当整个热传导过程达到平衡时, 假定沿轴向单位长度的功率损耗(包括电子注截获和射频损耗)是  $W$ , 那么在长度  $l$

收稿日期: 2001-10-08; 修回日期: 2002-07-03

基金项目: 大功率微波电真空器件技术国防科技重点实验室基金(No. 2000JS10.1.1. DZ02)

上沿径向传导出去的热量是:

$$q = Wl \quad (1)$$

在温度达到稳定状态时,环板行波管各组件的温度分布满足如下的热传导方程:

$$\nabla \{k(T) \nabla T\} + \dot{q} = 0 \quad (2)$$

其中,  $\dot{q}$  是单位体积热量产生的速率,  $k(T)$  为材料的热传导率, 是温度的函数, 该偏微分方程的求解十分复杂, 为简单起见, 可用如下的近似方法求解<sup>[4]</sup>. 首先, 我们设定一个恒定的热传导率  $k$ , 则式(2)简化为线性微分方程, 求解该线性微分方程, 就可以得到热传导率不随温度变化情况下的温升  $\Delta T = T_2 - T_1$ , 同时定义几何因子为

$$f = \frac{\Delta T \cdot k}{W} \quad (3)$$

几何因子给出了恒定热传导率情况下的热阻随几何参量的变化.

令  $F = fW$ , 则由式(3)得

$$F = - \int_{T_2}^{T_1} k(T) dT \quad (4)$$

若  $k(T)$  取  $n$  阶多项式近似  $k(T) = k_0(1 + \beta_1 T + \beta_2 T^2 + \dots + \beta_n T^n)$ , 则温升由下列代数方程的最小正根给出:

$$a_{n+1} x_r^{n+1} + a_n x_r^n + \dots + a_1 x_r - F = 0 \quad (5)$$

其中  $a_n = \frac{1}{n!} \frac{d^n}{dT^n} k(T) |_{T=T_1}$

对于给定的单位纵向长度的功率损耗  $W$  和热传导率  $k(T)$ , 求解式(5)必须首先计算出各个组件的几何因子  $f$ .

### 3 环板行波管各组件的几何因子

#### 3.1 周期聚焦结构

假定磁系统沿纵向是绝热的, 而且热量迅速地流出, 由于对称线是绝热线, 所以只需考虑半个周期, 此时从管壳传导到外部的热量为

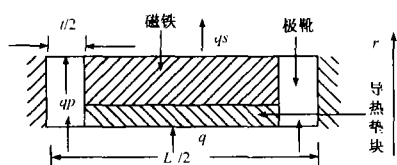


图2 周期聚焦结构热模型

$$q = W \frac{L}{2} \quad (6)$$

具有圆柱对称径向热流的周期结构的几何因子为

$$f = \frac{\frac{k_p \ln(\beta \frac{d_o}{d_i}) + \frac{k_p}{k_m} \ln(\frac{1}{\beta})}{(\frac{L}{2t} - 1) \ln(\frac{d_o}{d_i}) + \frac{k_p}{k_m} \ln(\beta \frac{d_o}{d_i}) + \frac{k_p}{k_m} \ln(\frac{1}{\beta})} \cdot \frac{L}{4\pi t} \cdot \ln(\frac{d_o}{d_i}) \quad (7)$$

其中,  $t$  为极靴的纵向宽度,  $L$  为磁系统的周期,  $d_i, d_o$  分别为极靴的内外半径,  $k_m, k_p, k_s$  分别是磁铁、极靴、导热垫块的热传导率.

#### 3.2 屏蔽筒

如图3所示,  $R_1 = \frac{d_s}{2}$ ,  $R_2 = \frac{d_s}{2} + S$ , 分别为屏蔽筒的内外

半径, 而  $S, d_s$  分别为屏蔽筒的厚度与内直径, 单位纵向长度上由板传给屏蔽筒的热量为:

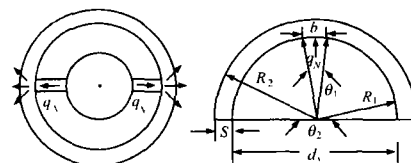


图3 屏蔽筒的热传导路径及热模型

$$q_N = \frac{W}{2} \quad (8)$$

假设屏蔽筒是理想导体, 没有欧姆损耗, 此时热传导方程简化为拉普拉斯方程

$$r^2 \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial \phi^2} = 0 \quad (9)$$

其边界条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial r} |_{r=R_2} = -\frac{q_N}{k\pi R_2}, & -\frac{\theta_2}{2} < \phi < \frac{\theta_2}{2} \\ \frac{\partial T}{\partial r} |_{r=R_1} = \begin{cases} -\frac{q_N}{kb}, & -\frac{\theta_1}{2} < \phi < \frac{\theta_1}{2} \\ 0, & \frac{\theta_1}{2} < \phi < \frac{\theta_2}{2} \end{cases} \\ \frac{\partial T}{\partial \phi} |_{\phi=\pm\theta_2/2} = 0, & R_1 < r < R_2 \end{cases} \quad (10)$$

利用分离变量法, 解得屏蔽筒温度分布的表达式为:

$$T(r, \phi) = Tr - \frac{q_N}{k} \frac{1}{\theta_2} \ln r + \frac{q_N \theta_1}{k \theta_2} \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{R_1}{r} \right)^{2n} \frac{1 + \left( \frac{r}{R_2} \right)^{4n} \sin(\frac{n\pi\theta_1}{\theta_2})}{1 - \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^{4n} \sin(\frac{n\pi\theta_1}{\theta_2})} \cos(2n\phi) \quad (11)$$

屏蔽筒的几何因子为:

$$f_s = \frac{1}{2} \left[ \frac{1}{\theta_2} \ln \frac{R_2}{R_1} + \frac{\theta_1}{\theta_2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left( \frac{R_2}{R_1} \right)^{2n} - 1}{\left( \frac{R_2}{R_1} \right)^{2n} + 1} \frac{\sin(\frac{n\pi\theta_1}{\theta_2})}{\left( \frac{n\pi\theta_1}{\theta_2} \right)^2} \right] \quad (12)$$

其中,  $\theta_2 = \pi$ ,  $\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\pi d_s}{2b}$ .

#### 3.3 支撑板

板与环都是金属导体,  $h$  为板的径向宽度,  $w$  为环的纵向宽度,  $b$  为板厚,  $p$  为环板结构的周期. 功率耗散表现在环和板上的电子截获和射频损耗, 如果单位轴向长度的功率耗散为  $W$ , 可假设环上的功率耗散为  $\eta W$ , 则板上的功率耗散为  $(1 - \eta)W$ . 由于环板结构的周期性, 我们选取半个周期来研究, 如图4所示, 在直角坐标系下, 热传导方程式变为:

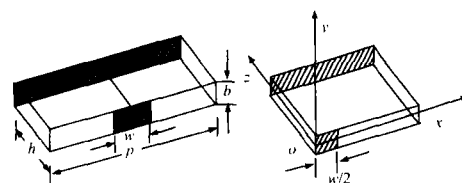


图4 支撑板结构图及其热模型

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = 0 \quad (13)$$

边界条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial y}|_{y=\pm \frac{b}{2}} = 0, 0 < z < h, -\frac{p}{2} < x < \frac{p}{2} \\ \frac{\partial T}{\partial z}|_{z=h} = -\frac{q_N}{kpb}, -\frac{p}{2} < x < \frac{p}{2}, -\frac{b}{2} < y < \frac{b}{2} \\ \frac{\partial T}{\partial z}|_{z=0} = \begin{cases} -\frac{q'_N}{kwb}, & -\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2}, -\frac{b}{2} < y < \frac{b}{2} \\ 0, & \frac{w}{2} < x < \frac{p}{2}, -\frac{b}{2} < y < \frac{b}{2} \end{cases} \end{cases} \quad (14)$$

其中  $q = \frac{W(1-\eta)}{2hb}$ ,  $q'_N = \frac{W\eta p}{2}$ ,  $q_N = \frac{Wp}{2}$ ,  $Tr$  为参考温度.

解此方程, 首先求出特解, 然后运用分离变量法求出齐次泛定方程的解, 最后用边界条件定系数, 可得方程(14)的解为:

$$\begin{aligned} T(x, z) = & Tr - \frac{qz^2}{2k} + \left(\frac{qh}{k} - \frac{q_N}{kpb}\right)z \\ & + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{p^2}{(m\pi)^2 2kbw} \sin\left(\frac{m\pi w}{p}\right) \cosh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right) \\ & \cdot \left[ \frac{\cosh\left(\frac{2m\pi z}{p}\right)}{\sinh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right)} - \frac{\sinh\left(\frac{2m\pi z}{p}\right)}{\cosh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right)} \right] \cos\left(\frac{2m\pi x}{p}\right) \end{aligned} \quad (15)$$

支撑板的几何因子为:

$$f_{plane} = \frac{1+\eta}{4} \cdot \frac{h}{b} + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{p^2}{(m\pi)^2 2bw} \frac{\eta \sin\left(\frac{m\pi w}{p}\right)}{\sinh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right)} \frac{\cosh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right) - 1}{\sinh\left(\frac{2m\pi h}{p}\right)} \quad (16)$$

### 3.4 环

如前所设定, 环上的功率耗散为  $\eta W$ . 由于环的对称性, 选取四分之一圆周进行分析, 如图 5 所示,  $a$  为环内径,  $c$  为环厚,  $w$  为环纵向宽度,  $b$  为板厚, 与板一样, 其热传导方程为:

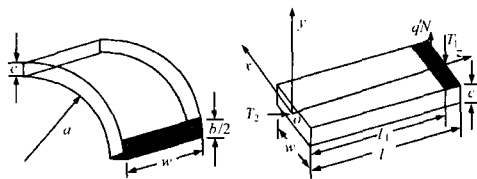


图 5 四分之一环及其热模型

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{q}{k} = 0 \quad (17)$$

边界条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial T}{\partial y}|_{y=-\frac{c}{2}} = 0, -l < z < l, -\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2} \\ \frac{\partial T}{\partial y}|_{y=\frac{c}{2}} = \begin{cases} -\frac{q'_N}{kwb}, & -\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2}, l_1 < z < l \\ 0, & -\frac{w}{2} < x < \frac{w}{2}, -l_1 < z < l_1 \end{cases} \\ \frac{\partial T}{\partial x}|_{x=\pm \frac{w}{2}} = 0, -\frac{c}{2} < y < \frac{c}{2}, -l < z < l \end{cases} \quad (18)$$

其中  $q = \frac{W\eta p}{2\pi a w c}$ ,  $q'_N = \frac{W\eta p}{2}$ ,  $l = \frac{\pi a}{2}$ ,  $l_1 = \frac{\pi a - b}{2}$ ,  $Tr$  为参考温度.

同样, 可得方程(17)的解为:

$$\begin{aligned} T(y, z) = & Tr - \frac{qz^2}{2k} + \frac{q'_N l_1^2}{k b w l} \sum_{m=1, \dots}^{\infty} \frac{\sin\left(\frac{m\pi l_1}{l}\right)}{\left(\frac{m\pi l_1}{l}\right)^2} \\ & \cdot \left[ \frac{\cosh\left(\frac{m\pi y}{l}\right)}{\sinh\left(\frac{m\pi c}{2l}\right)} + \frac{\sinh\left(\frac{m\pi y}{l}\right)}{\cosh\left(\frac{m\pi c}{2l}\right)} \right] \cos\left(\frac{m\pi z}{l}\right) \end{aligned} \quad (19)$$

环的几何因子为:

$$f_{ring} = \frac{\pi \eta p a}{16 w c} + \frac{\eta p (\pi a - b)^2}{2 \pi b w a} \sum_{m=1, 3, 5, \dots}^{\infty} \frac{\sin m\left(\pi - \frac{b}{a}\right)}{\left[m\left(\pi - \frac{b}{a}\right)\right]^2} \frac{1 + 2 \sinh^2\left(\frac{m c}{a}\right)}{\sinh\left(\frac{m c}{a}\right) \cosh\left(\frac{m c}{a}\right)} \quad (20)$$

### 4 各组件温升

以上在恒定热传导系数的假设下给出了环板行波管互作用区各部件的几何因子, 现在根据式(5), 取散热器参考温度为  $Tr = 80^\circ\text{C}$ , 求出各部件的温升.

假设极靴的材料用铁, 铁的热传导率用三阶多项式近似:

$$k(T) = 0.838 \times (1 - 1.616 \times 10^{-3} T + 2.296 \times 10^{-6} T^2 - 1.841 \times 10^{-9} T^3) \text{ W/cm}^\circ\text{C} \quad (21)$$

经计算得  $a_1 = 0.7412$ ,  $a_2 = -5.3799 \times 10^{-4}$ ,  $a_3 = 5.1793 \times 10^{-7}$ ,  $a_4 = -3.8569 \times 10^{-10}$ , 故 PPM 结构的温升  $\Delta T_{PPM}$  由方程  $a_1 x_r + a_2 x_r^2 + a_3 x_r^3 + a_4 x_r^4 - F = 0$  的最小正根给出.

上式解出的  $\Delta T_{PPM}$  忽略了界面热阻的影响(包括屏蔽筒与极靴之间, 屏蔽筒与导热垫块之间, 导热垫块与永磁体之间的界面热阻), 而界面热阻取决于各接触面的抛光度、压力大小、两种接触物的导热机理与热传导率的大小等诸多因素, 个体管子的工艺差异很大, 导致界面热阻的个体差异很大; 在实际工程设计中, 为了计及界面热阻对部件温升的影响, 采用实验手段测量出具体温升值, 再对计算出的温升值乘上一个系数  $\lambda$  进行修正. 根据文献[4~6], 选取  $\lambda = 1.5$  进行数值模拟.

而屏蔽筒、支撑板及环的材料用铜, 铜的热传导率用一阶多项式近似:

$$k(T) = 3.98 \times (1 - 0.137 \times 10^{-3} T) \text{ W/cm}^\circ\text{C} \quad (22)$$

屏蔽筒、支撑板及环的温升由方程  $a_1 x_r + a_2 x_r^2 - F = 0$  的最小正根给出. 其中,  $a_1 = 3.9364$ ,  $a_2 = -0.00027$ . 不过此方程中的  $F$  对屏蔽筒、支撑板与环各不相同.

按照上述方法对环板结构各部件温升进行计算, 可以得到如下结论:

(1) 当 PPM 的几何尺寸给定, 其温升随单位轴向长度耗散功率增大而快速地增大. 当单位轴向长度的耗散功率、磁体周期、极靴内外径之比给定, 则 PPM 结构的温升随极靴纵向宽度的增大而减少; 当单位轴向长度的耗散功率、极靴的纵向宽度和 PPM 结构的周期给定, 则 PPM 结构的温升随极靴外径与内径之比的增大而呈升高.

(2) 当屏蔽筒的几何尺寸固定后, 屏蔽筒的温升随耗散功

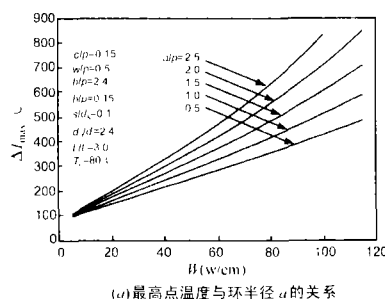
率的增加而近似呈线性增加,表明此时由于屏蔽筒的温度对筒的热传导率影响不大,在给定的耗散功率范围内,屏蔽筒的温升不高,在十摄氏度左右;当其它几何尺寸固定后,给定耗散功率,屏蔽筒温升随其半径和厚度的增大而增大;

(3)当板的几何尺寸固定后,板的温升随耗散功率的增加而急剧地增加,在给定的耗散功率范围内,板的温升比较高,达 250 摄氏度左右,这反映出板的温升是导致管内温度过高的一个重要环节;当其它几何尺寸固定后,给定耗散功率,板的温升随板厚的增大而减小,随板径向长度的增大而增大,而且板几何尺寸的微小改动,将导致板绝对温度的很大改变;

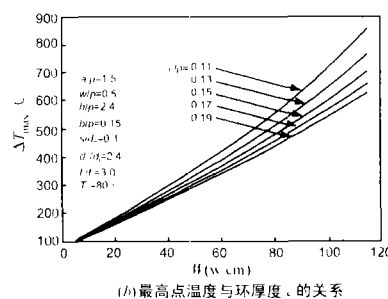
(4)当环的几何尺寸固定后,环的温升随耗散功率的增加呈非线性急剧增加,表明此时环的温度对环的热传导率影响很大,在给定的耗散功率范围内,环的温升很高,达 400 摄氏度左右,这反映出环的温升是导致管内温度过高的最重要的因素;当其它几何尺寸固定后,给定耗散功率,环的温升随环半径的增大而增大,随环厚度、环纵向宽度的增大而减小。

## 5 管子最高温度的数值模拟

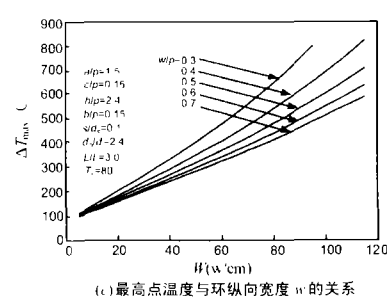
由环板行波管的结构知,环板行波管的温度最高点位于



(a) 最高点温度与环半径  $r$  的关系



(b) 最高点温度与环厚度  $t$  的关系



(c) 最高点温度与环纵向宽度  $w$  的关系

图 8 最高点温度与功率耗散  $W$  和环几何尺寸的关系

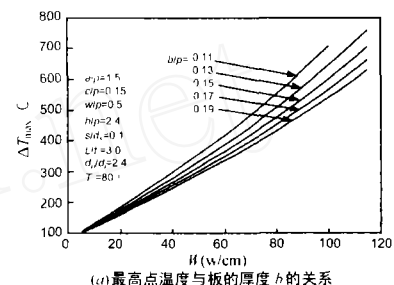
由图 8 知,最高点温度随环半径的增大而升高,随环厚度、纵向宽度的增大而降低。这是因为环虽然是铜材料制成,但由于环对电子注的截获和本身的高频损耗,使得它本身的温度非常的高,厚度小,纵向宽度小,导致其热阻比较大,同时,环厚和纵向宽度的微小改变都将导致热阻的较大改变,最终导致最高点温度的改变很大。

与支撑板互相垂直的环的直径的两个端点,前面分析了环板行波管相互作用区各部分的温升,在前面的工作的基础上,可得到管子最高温度点温度与各几何尺寸在给定耗散功率下的关系。

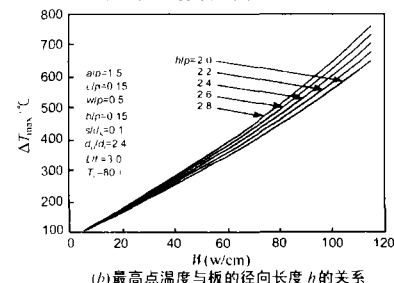
假设散热器的温度为  $T_r = T_1 = 80^\circ\text{C}$ ,  $\lambda = 1.5$ ,  $\eta = 0.9$ ,我们就行波管几何尺寸对管子最高温度的影响进行了数值模拟:

由图 6 可知,虽然 PPM 结构本身的温升对最高点的温度贡献不大,但如果 PPM 结构的周期过长,极靴外径太大,将造成 PPM 结构的绝对温升快速上升,同时过高的 PPM 结构温度要导致屏蔽筒、板、环的热传导率下降,以致它们的绝对温升急剧上升,致使最高温度点的温度过高,烧毁部件;为了避免这种灾难性的后果,在设计环板行波管时,在满足电子束聚焦的条件下,需把极靴的纵向宽度作大一点,极靴的外径尽量作小。

由图 7 知,最高点温度随板径向长度的增大而升高,随板厚度的增大而降低;板的径向长度和厚度对最高点温度影响很显著,这是因为板虽然是铜材料制成,但本身的温度比较高,厚度小,径向长度大,导致其热阻比较大,同时,板厚度和径向长度的微小改变都将导致热阻的较大改变,最终导致最高点温度的改变很大。



(a) 最高点温度与板的厚度  $h$  的关系



(b) 最高点温度与板的径向长度  $h$  的关系

图 7 最高点温度与功率耗散  $W$  和板几何尺寸的关系

## 6 结论

通过以上的讨论,在考虑了界面热阻的情况下,得出了环板行波管相互作用区的最高温度与慢波结构、聚焦系统的几何尺寸及功率耗散之间的关系,但界面热阻个体差异很大,本文给出的只是一种近似的界面热阻处理方法;同时,功率耗散包

括慢波系统截获电子注的功率以及慢波系统本身的欧姆损耗,对于功率耗散的计算,十分复杂,将另文讨论.由本文的数值模拟结果,不难得出这样的结论,为了尽可能提高环板行波管的功率水平,进行互作用区的设计时,在保证工作带宽的同时,还应该遵循以下的原则:

(1)保证电子注聚焦的前提下,尽量减小极靴的厚度,增大极靴的纵向宽度.

(2)在保证色散较弱的前提下,要兼顾板的径向长度及其厚度,尽量使板的径向长度短一点,厚度大一点.

(3)环的尺寸对功率容量和色散都有重要影响,在进行环板结构设计时,要同时考虑这两方面的因素,减小环半径,增加环厚和纵向宽度,以提高功率容量.

(4)本文的研究方法同样适用于环板慢波系统的变态结构,如II线等.

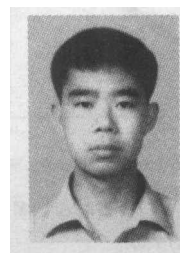
#### 参考文献:

- [1] Jack A Lucken. Some aspects of circuit power dissipation in high power CW helix traveling wave tubes, Part I: General theory [J]. IEEE Trans on ED, 1969, 16(9): 813 - 820.
- [2] Jack A Lucken. Some aspects of circuit power dissipation in high power CW helix traveling wave tubes, part II: Scaling laws [J]. IEEE Trans on ED, 1969, 16(9): 821 - 826.
- [3] Alexander S Gilmour, Martin R Gillette, JENN-TSUNG Chen. Theoretical and experimental TWT helix losses determination [J]. IEEE Trans on ED, 1979, 26(10): 1581 - 1588.
- [4] Roberto Crivello, Richard W Grow. Thermal analysis of PPM-focused rod-supported TWT helix structures [J]. IEEE Trans on ED, 1988, 35(10): 1701 - 1720.
- [5] 王基奎. 螺旋线慢波系统的散热能力分析[J]. 电子学报, 1982, 10(6): 25 - 51.
- [6] 任裕安. 开敞型慢波线热传导的一维分析[J]. 电子学通讯, 1981, 3(3): 160 - 166.
- [7] Y Gong, W Wang, Y Wei, S Liu. Theoretical analysis of ridge-loaded ring-plane slow wave structure by variational methods [J]. IEE Proc-Microw Antennas Propag, 1998, 145(5): 397 - 405.
- [8] Yubin Gong, Wenxiang Wang, Shengang Liu. Small signal theory of a ridge-loaded travelling wave tube [J]. Int J of Electronics, 1998, 85(5): 681 - 696.

#### 作者简介:



宫玉彬 男, 1967 年 10 月生于山东蓬莱, 博士, 教授, 1989 年毕业于长春理工大学激光器件与技术专业, 获理学学士学位, 1992 年毕业于电子科技大学电子物理与器件专业, 获工学硕士学位, 1994 年于电子科技大学物理电子学专业攻读在职博士, 1998 年获工学博士学位; 1997 年 7 月到 1998 年 7 月, 赴香港城市大学(City University of Hong Kong)学习进修, 长期从事微波电真空器件和微波理论的研究工作, 发表论文近 60 篇.



覃志东 男, 1974 年出生于四川省广汉市, 1997 年于四川师范大学物理系获学士学位, 2002 年于电子科技大学物理电子学院获硕士学位, 现在电子科技大学计算机学院攻读博士学位, 主要研究对象为实时软件工程、软件测试技术与 SOC 技术.