

## 耦合腔慢波结构热特性仿真环境的设计

孙 淼，姚列明

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

**【摘要】**针对行波管慢波结构热分析的必要性，介绍了耦合腔慢波结构的热产生机理，结合ANSYS软件设计了可对不同类型的耦合腔慢波结构进行热特性分析的专用仿真环境。利用该仿真环境，用户可以在不掌握ANSYS软件使用方法的情况下对耦合腔行波管慢波结构的热特性进行模拟计算。

**关键词** 行波管；慢波结构；散热；仿真

中图分类号 TN 124; TP 317 文献标识码 A

## Design of Thermal Characteristic Simulation Environment for Coupled-Cavity Slow-Wave Structure

SUN Miao, YAO Lie-ming

(School of Physical Electronics, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** For the necessity of thermal analysis for traveling-wave tube's slow-wave structure, the mechanism of thermal generation in coupled-cavity slow-wave structure has been shown. A professional simulation software combining with the software ANSYS which can do thermal analysis for different type of coupled-cavity slow-wave structure has been designed. Using this software, tube designer can do simulation about thermal performance of coupled-cavity traveling-wave tube's slow-wave structure without the knowledge of how to use ANSYS.

**Key words** traveling-wave tube; slow-wave structure; cooling; simulation

行波管是现代军用电子装备中的重要器件。它广泛地应用在雷达、发射机等关键性的通信设备和电子战设备中，是高功率微波武器的核心器件。因此，行波管被誉为武器装备的“心脏”<sup>[1]</sup>。由于行波管的大功率和高频率等特性，目前还没有任何其他器件可以代替。随着武器装备工业的不断发展，对行波管的输出功率也不断地提出更高要求。由于行波管是通过电子注与高频电磁场的互作用来对信号产生放大，因此行波管的慢波结构是整个行波管中的重要部分<sup>[2]</sup>。其热传导能力是限制行波管进一步提高功率容量的一个重要因素，如何提高其热传导能力，获得尽可能高的功率输出，是进行行波管设计过程中必须研究并解决的重要课题<sup>[3]</sup>。利用软件模拟进行热分析是目前广泛采用的方法，本文设计了专门用于耦合腔行波管慢波结构热分析的仿真环境。

### 1 耦合腔慢波结构的热特性

在耦合腔行波管中，慢波结构部分中热的产生主要来自于两部分：

1) 由于电子注聚焦性能不好造成耦合腔结构对电子的截获；

2) 射频损耗产生的热。散热的路径主要是通过耦合腔壁以及行波管的外壳来完成。由于耦合腔行波管具有全金属结构, 热量可以迅速通过耦合腔壁传递到行波管外壳, 在行波管慢波结构外部可以方便地采用水冷或蒸发冷却的方法进行散热, 故其散热性能较好。然而考虑到对行波管功率以及工作可靠性要求的不断提高, 耦合腔行波管慢波结构的散热问题也需研究。

## 2 仿真环境的设计与实现

选用ANSYS软件对耦合腔行波管慢波结构的热特性进行仿真计算<sup>[4]</sup>。ANSYS软件是一个大型有限元分析工具包, 它可以完成传热、电磁、流体、结构力学等多领域问题的分析。由于专门从事行波管设计的技术人员不一定对ANSYS软件的使用方法很了解, 因此仿真环境应具有方便易用的特点, 使不会使用ANSYS的用户仍然可以方便地对耦合腔行波管慢波结构的热特性进行模拟计算。

### 2.1 开发工具的选择

考虑到仿真环境主要提供一个介于ANSYS软件与用户之间的操作界面, 并能调用ANSYS软件进行相应问题的计算, 故采用比较适合界面开发的Visual Basic 6.0作为开发工具。利用ANSYS软件的语言, 对ANSYS的模型进行参数化。

### 2.2 仿真环境的总体结构

仿真环境包括初始化及准备、参数输入、命令流文件生成、调用ANSYS计算和结果显示5个部分, 如图1所示。

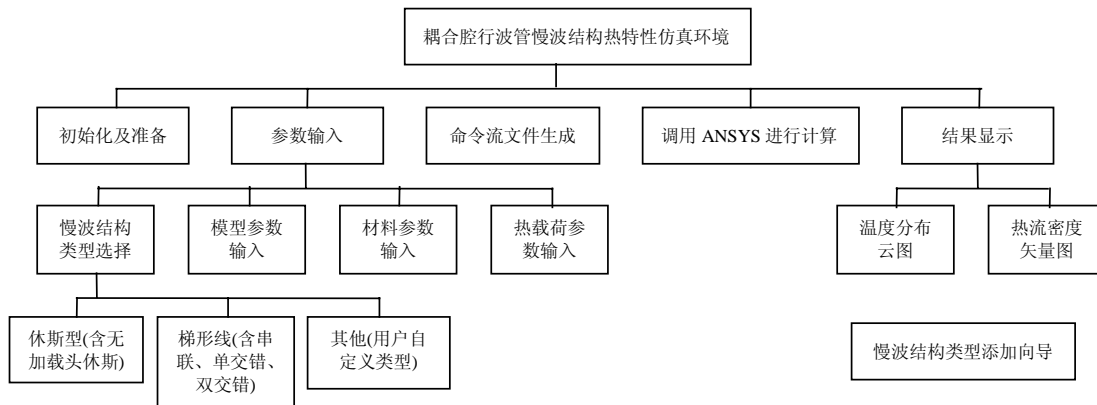


图1 仿真环境总体结构图

在参数输入部分中, 可以对要分析的慢波结构的具体类型进行选择。软件中提供了5种具体的慢波结构类型, 可分别用于体斯型和梯形线型慢波结构的热特性计算。如果用户需要计算其他类型的慢波结构, 则可以利用软件所附的“慢波结构类型添加向导”自定义新的慢波结构类型。

### 2.3 计算时的处理流程

在对一个分析对象应用本仿真环境进行计算时, 典型的处理流程如图2所示。

热流密度载荷是ANSYS热分析中重要的载荷<sup>[5]</sup>, 也是行波管慢波结构热分析中热量的来源, 它被施加在漂移管的内表面上。由于用户可能对传热学的术语不熟悉, 因此为了方便用户使用, 只需要用户输入切向电流、工作电压等物理参数, 软件会自动将其换算成传热学载荷并进行载荷施加。

仿真环境中命令流文件的生成是根据用户输入的参数并结合软件模型库中的命令流模板生成的。由于命令流模板是已经经过参数化的命令流文件, 因此生成的命令流文件是完整的可被ANSYS软件直接读入的命令流文件, 其中包括了ANSYS分析的前处理和分析求解两个部分的命令。

软件调用ANSYS进行计算时, 直接采用ANSYS的批处理方式完成, 因此, 在整个处理过程中, 用户不会接触到任何ANSYS软件的操作。这样对不熟悉ANSYS软件使用的用户来说非常方便。如果用户希望直接用ANSYS软件进行操作, 只要掌握ANSYS的使用方法就可以实现。

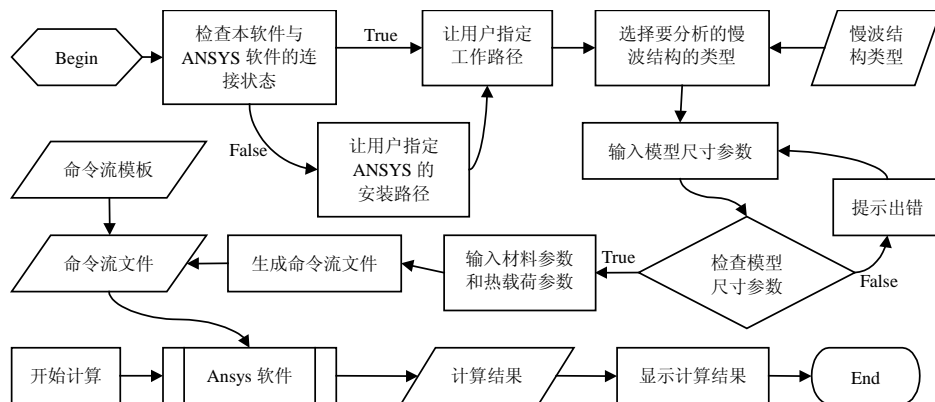


图2 仿真环境的数据流图

## 2.4 计算结果显示

在仿真环境中,计算的结果直接显示在软件的显示区域中,如图3所示。结果显示方式有两种:温度分布云图和热流密度矢量图。为了方便用户对三维模型进行各种角度的观察,软件还提供了对观察方向进行选择的功能。应用此功能,用户可以对模型结果进行任意方向的观察。

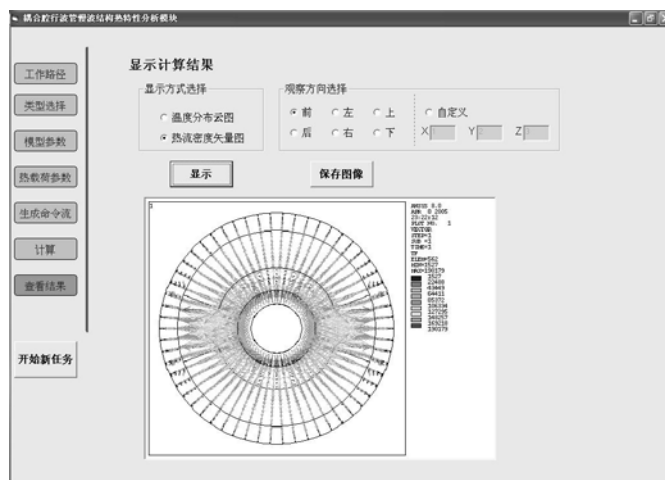


图3 仿真环境的“查看结果”界面

## 3 结论

应用本仿真环境可以方便而准确地对耦合腔行波管慢波结构进行热特性分析,将分析结果以温度分布云图或热流密度矢量图的形式显示给用户,为从事行波管设计的技术人员提供一定的帮助。

软件具备一定的可扩充性,以适应不同用户对本软件的不同需求。用户可在软件允许的范围内自定义分析对象的类型及形状参数,并添加到软件的模型库中。因此,本软件的适用性非常强。

## 参考文献

- [1] 王斌, 苏振华. 行波管现状与发展[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 1998, (2): 45-49
- [2] 杨中海, 黄桃, 李斌, 等. 行波管电子光学系统CAD技术进展[J]. 真空电子技术, 2004, (3): 12-15
- [3] 王文祥, 官玉彬, 魏彦玉, 等. 大功率行波管新型慢波线技术的进展[J]. 真空电子技术, 2002, (6): 13-18
- [4] 赵兴群, 张国兴, 孙小菡, 等. 脉冲螺旋行波管热状态分析及ANSYS模拟[J]. 电子学报, 2004, 32(6):1 029-1 032
- [5] ANSYS公司. ANSYS热分析指南[R]. 2001