

行波管电子枪设计中的热分析

姚列明, 杨中海, 肖礼

(电子科技大学物理电子学院 成都 610054)

【摘要】电子枪在工作过程中产生的高温易导致各个组件变形,影响电子枪的各项性能指标和工作寿命,热分析在提高电子枪设计的可靠性和加快研制周期方面起着重要的作用。该文使用ANSYS软件对行波管电子枪进行了热分析和结构分析,比较了电子枪复杂模型和简化模型的温度和热形变计算结果。热分析结果对电子枪的优化设计有参考价值。

关键词 电子枪; ANSYS软件; 行波管; 热分析

中图分类号 TN124 **文献标识码** A

Thermal Analysis in the Design of Electronic Gun

YAO Lie-ming, YANG Zhong-hai, XIAO Li

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

Abstract The thermal analysis is more important for high reliability and short design cycles in electronic gun design. The high temperature, produced during electronic gun working, results to the thermal-stress of the components, and has effects to the parameters and lifetime of the gun. This paper provided the thermal and structural analysis of the electronic gun using ANSYS package. The results of thermal and structural analysis for complex and simple model were compared. The results of thermal analysis are helpful to the optimizing design of electronic gun.

Key words electronic gun; ANSYS; traveling wave tube; thermal analysis

电子枪在各种电子器件中有着广泛的应用,如显像管、示波器、行波管等,其任务是产生一束具有一定能量的高速细束电子流。不同的电子仪器中对电子注的直径、形状、电流密度等有不同的要求,而电子枪中各个电极的形状和电压对电子注的粗细、形状都有影响^[1]。

行波管是微波器件中高功率、宽频带放大器的主要管型,大量用作卫星通信、电子对抗和雷达系统的放大级或发射功率源。随着新材料、新工艺和新技术的不断出现,行波管的性能和技术指标有了很大提高,但随之也带来了高的热负载。高温对行波管的可靠性与稳定性影响很大,定性和定量地研究温度对行波管各部分参数的影响,为解决行波管的稳定性和可靠性提供了有效途径。对于行波管的关键部件电子枪,尤其是阴极组件,其热形变将直接影响电子束的质量,这个问题一直受到人们的关注。由于电子枪的结构比较复杂,其温度分布和热形变的解析解很难得到,因此早期热形变对电子枪性能影响的分析工作开展较少。

随着计算机技术的快速发展,一些大型模拟软件应运而生,给各种热分析工作带来了很大的方便,为电子枪的热设计提供了有效途径,ANSYS有限元分析软件便是其中之一^[2]。近年来国内外利用ANSYS软件对电子枪的热分析开展了一些工作。文献[3]利用对电子枪各电极的温度分析,对阴极支持结构的散热能力

收稿日期: 2005-03-01

基金项目: 国防科技预研基金资助项目; 国防科技重点实验室基金资助项目

作者简介: 姚列明(1963-),女,在职博士,副教授,主要从事微波管热分析和可靠性分析方面的研究。

和支撑强度进行了优化。文献[4, 5]对灯丝、阴极和阴极的支撑部分建模, 计算了灯丝的热辐射、阴极的热膨胀, 通过分析稳态阴极工作温度均匀性和电子枪加热时间解决电子枪的快速启动问题。文献[6]直接将阴极设为热源, 模拟和分析了电子枪的工作状态, 对电子枪内部的温度分布进行了暂态和稳态分析, 考虑了外界对流系数的改变对电子枪的温度场分布影响, 发现外界对流系数的改变对电子枪的温度场几乎没有影响。本文利用ANSYS软件分别对行波管电子枪的全模型和简化模型进行了热形变分析。

1 电子枪组件的热形变计算

行波管电子枪的全模型包括热丝、热丝盖板、热丝支持片、热丝陶瓷、阴极、阴极筒、阴极筒支持杆、热屏筒、热屏支持架、控制极、控制极支持片、阳极、阳极支持片、对中座、对中座支持片、金属化枪陶瓷环、枪端盖、端盖支持筒、枪底盖和连接套。全模型的剖面图如图1所示。

由于电子枪的全模型比较复杂, 建模要耗去设计人员大量精力, 计算时间也相对较长, 因此建立简化模型时有必要对结构和几何形状进行合理的简化和处理。电子枪处于工作状态时, 高温部分主要集中在灯丝、阴极和阴极筒3个部分, 而影响电子束参数的主要是阴极和阴极筒的热膨胀, 因此简化模型只对阴极和阴极筒建模。这样可以减少建模工作量和计算时间。简化的模型如图2所示。

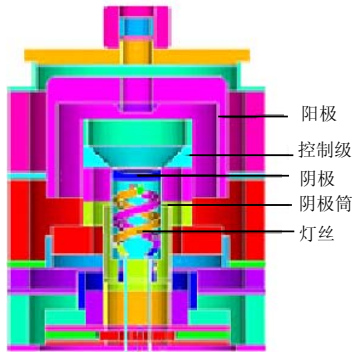


图1 行波管电子枪全模型剖面图

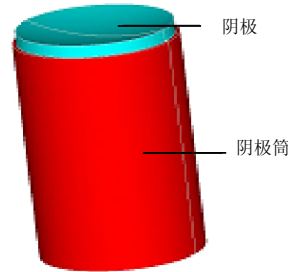


图2 只有阴极和阴极筒的简化模型

1.1 对复杂模型的热计算

在电子枪中, 灯丝为双螺旋盘绕, 为了建模方便, 将灯丝的截面改为矩形。考虑到各个组件接触紧密, 其接触热阻可以忽略不计。作温度场计算时, 灯丝部分选择热电耦合单元solid69, 模型的其他部分选择solid70。在划分有限元网格时, 对于形状规则的部分采用六面体单元, 形状不规则的部分则采用四面体单元。分网后, 72个体元共产生407 581个单元, 523 169个节点。

施加边界条件时, 在灯丝两端加固定电压, 在电子枪外壳加对流边界条件。由于电子枪的内部是真空, 因此内部的传热主要靠辐射和热传导。阴极靠灯丝的热辐射加热, 因此将灯丝表面、阴极底面和阴极筒内表面定义为一个辐射组, 阴极和阴极筒外表面、热屏筒和控制极内表面为另一个辐射组。其他组件温度较低, 传热主要靠热传导, 因此可忽略其热辐射。

进行热形变计算时, 先将热分析单元solid70和solid69转为结构分析单元solid45, 添加各材料的杨氏模量和热膨胀系数等参数, 对电子枪的底面施加各方向位移为0的边界条件, 再将热分析的结果作为热载荷施加在各个节点上, 从而求解得到热形变结果。

由于整个电子枪温度变化范围较大, 其总的温度分布云图不能直观地看出每个组件的温度分布规律, 因此只在图3中显示了阴极组件及其支持杆的温度分布和热形变结果。

通过改变边界条件来考察影响电子枪温度分布的因素。表1所示为灯丝电压不同时阴极的平均温度和电子枪外壳的最低温度。图4所示为在电子枪外壳加不同的对流传热系数时阴极平均温度和外壳最低温度的变化。

电子枪内部的温度主要靠阴极筒、阴极筒支持杆、热屏筒、热屏支持架、对中座、对中座支持片、金属化枪陶瓷环和枪底盖传递到外界。为了保证阴极有足够高的温度, 电子枪内部和外壳间要减少热传递。

从上述计算结果可以看出,灯丝电压对阴极的温度影响最大,对外壳的温度影响较小(只在几度的范围内变化);而电子枪外壳所加的对流换热系数对阴极温度影响很小,说明行波管工作时的外部环境条件对阴极温度影响很小。

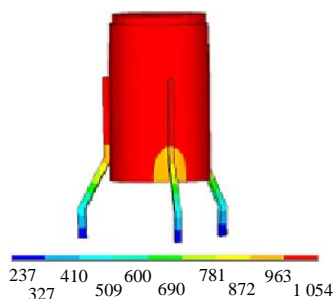


图3 阴极组件及其支持杆的温度分布和热形变

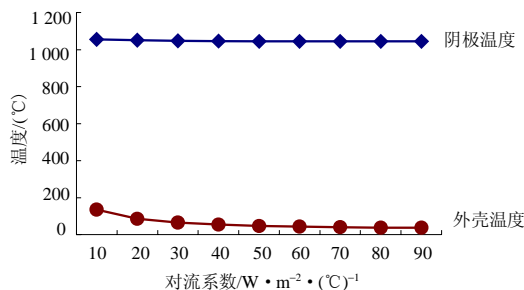


图4 对流系数对阴极和外壳温度的影响

表1 灯丝电压对阴极和外壳温度的影响

灯丝电压/V	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0
阴极平均温度/°C	703	788	865	940	1 010	1 076	1 140
外壳最低温度/°C	35.6	36.5	37.5	38.5	39.6	40.6	41.7

1.2 对简化模型的热计算

简化模型中只包含2种组件:阴极和阴极筒。从全模型中选出阴极和阴极筒,进行温度分布计算时,直接在阴极底面施加1 050°C恒温进行稳态分析。仍然在阴极和阴极筒表面的施加与全模型相同的辐射边界条件。分网后,总单元数为6 994,总节点数为2 120。简化模型的热分析和热形变计算只需要几分钟的时间。

1.3 两种模型的热计算结果对比

表2中列出了由于热膨胀而导致阴极边缘和阴极中心点在轴向上的位移以及阴极半径的增大值,其中全模型中阴极边缘和阴极中心在轴向上的热形变是减去热屏筒底座在轴向上的热形变后得到的数值。虽然热分析结果表明简化模型和全模型的温度分布有一定的差异,但表2的数据显示它们的热形变结果基本一致。在高温下,由于阴极筒的热膨胀系数比阴极材料的热膨胀系数大,阴极组件的热膨胀主要由阴极筒的热膨胀造成,使阴控距离缩短。阴极在轴向上移动的距离与行波管在生产装配过程中阴控距离的调整值(约0.05 mm数量级)一致。

此外,阴极边缘的热膨胀大于阴极中心的热膨胀,导致阴极凹面也有一定的形变,其结果等效于阴极的曲率半径减小,同时阴极在径向的热膨胀导致阴极截面半径增加,使阴极的半锥角增大,它们将导致电子束的射程、导流系数和注腰半径减小,面积压缩比增大,但改变可以通过电子枪的电子光学系统设计软件如TWTCAD等计算出来^[7]。因此在设计电子枪时可适当减小阴极筒的长度和阴极的曲率半径。

表2 两种模型热形变结果比较

	阴极边缘(轴向)/mm	阴极中心(轴向)/mm	阴极半径(径向)/mm
全模型	0.072 22	0.068 34	0.010 00
简化模型	0.072 79	0.068 70	0.011 30

2 结 论

本文利用ANSYS软件对电子枪进行了热分析计算。计算结果表明,阴极的温度主要受灯丝电压的影响,阴极和阴极筒在工作状态下的热形变将影响电子枪的参数。这对设计人员了解电子枪在工作状态下的温度分布,在设计电子枪时,考虑热形变的因素,对几何模型作适当的修正,提高设计的准确性和可靠性,争取一次设计成功,是很有参考价值的。

由于电子枪结构十分复杂, 形状特殊, 对整个电子枪的建模和热计算会耗去设计人员的大量时间和精力。本文通过对电子枪的简化模型进行了温度场和热形变的计算比较, 发现和全模型的热形变结果没有太大的区别。对全模型的计算需要几个小时, 而简化模型的计算只需要几分钟。该结论表明, 电子枪设计人员在计算电子枪的热形变对电子注参数的影响时, 只需要建立简化模型进行计算, 从而减少计算量和计算时间, 这对缩短设计周期是非常有意义的。

参 考 文 献

- [1] ANSYS Inc. ANSYS thermal analysis guide, release 5.6[R]. 2000
- [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] Sharma R K, Sinha A K, Gupta R K. Thermal analysis gun for a mininature Helix TWT[J]. IETE Technical Review, 2000, 17 (5): 269-274
- [4] 胥辉. 电子管设计中的热分析[C]. 见: 高能电子学专业委员会第三届学术交流会议论文集(HEE'2003), 厦门, 2003. 143-145
- [5] 郑锦标, 邓衡, 王俊毅, 等. ANSYS在微波电子管中的应用[C]. 高能电子学专业委员会第三届学术交流会议(HEE'2003), 厦门, 2003. 135-140
- [6] 谢镨, 赵兴群, 张国兴, 等. 利用ANSYS模拟和分析电子枪的工作状态[C]. 见: 高能电子学专业委员会第三届学术交流会议(HEE'2003), 厦门, 2003. 124-127
- [7] 姚列明, 杨中海. 行波管电子枪阴极组件的热计算[J]. 强激光与粒子束, 2004, 16(10): 1 317 - 1 320

编辑 漆蓉

(上接第469页)

4 结 论

伏特拉滤波器的快速RLS算法由于采用了固定的遗忘因子, 故不能解决收敛速度与收敛精度之间的矛盾。本文构造了遗忘因子函数并将其引入快速RLS算法中, 得到一种改进的快速RLS算法。算例结果表明, 该算法很好地解决了收敛速度与收敛精度之间的矛盾, 并有效地加快了收敛速度。

参 考 文 献

- [1] Anding Z, Thomas J. An adaptive Volterra predistorer for the linearization of RF high power amplifiers[C]. IEEE MIT-S Digest, 2002, 461-464
- [2] Changsoo E, Edward J. A new Volterra predistorer based on the indirect learning architecture[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1997, 45(1): 223-227
- [3] Junghsi L, John M. A fast recursive least squares adaptive second-order Volterra filter and its performance analysis[J]. IEEE Trans. Signal Processing, 1993, 41(3): 1 087-1 102
- [4] 姚天任, 孙洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1999
- [5] 覃景繁, 欧阳景正. 一种新的变步长LMS自适应滤波算法[J]. 数据采集与处理, 1997, 12(3): 171-174
- [6] 高鹰, 谢胜利. 一种变步长LMS自适应滤波算法及分析[J]. 电子学报, 2001, 29(8): 1 093-1 097

编辑 许宣伟