

基于 Solidworks 的声光可调滤光器热设计

吴畏, 令狐梅傲, 刘伟, 傅礼鹏, 陈永峰

(中国电子科技集团公司第二十六所, 重庆 400060)

摘要:为验证声光可调滤光器(AOTF)的可靠性,运用 Solidworks 软件对其进行了热仿真分析。通过热仿真建模和热参数设置,经有限元分析后得到了热仿真结果,并进行了试验验证。仿真和试验结果表明 AOTF 满足工作环境要求。

关键词:声光可调滤光器;Solidworks;热仿真;有限元分析;试验

中图分类号:TN65 **文献标识码:**A

Thermal Design of AOTF Based on Solidworks

WU Wei, LINGHU Meiao, LIU Wei, FU Lipeng, CHEN Yongfeng

(26th Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Chongqing 400060, China)

Abstract: The thermal simulation analysis has been carried out by using the Solidworks software in order to verify the reliability of acousto-optic tunable filter (AOTF). By establishing the thermal simulation model and setting the thermal parameters, the thermal simulation results were obtained after the finite element analysis, and the result is verified by experiment. The simulation and test results show that the AOTF meet the requirements of working environment.

Key words: acousto-optic tunable filter (AOTF); Solidworks; thermal simulation; finite element analysis; test

0 引言

近年来,光谱成像技术在军事侦察、精细农业、生物医学及深空探测等领域的广泛应用,已引起了愈来愈多研究者的关注^[1]。分光元件是光谱成像仪器中的核心部件,分光元件的性能直接决定了光谱成像的质量^[2]。声光可调滤光器(AOTF)是一种新型的分光元件。与传统分光元件相比,AOTF具有体积小,质量轻,无活动部件,通光孔径大,衍射效率高,调谐灵活快速、调谐范围宽等优点,使其在光谱成像领域具有巨大应用潜力。

随着近几年 AOTF 在光谱成像领域的广泛应用,AOTF的可靠性,特别是 AOTF 能否在高温情况下正常工作愈来愈受到广泛关注。本文结合所研制的一款 AOTF,运用 Solidworks 计算机辅助设计的热分析功能对 AOTF 进行了热仿真分析,并进行了试验验证。

1 Solidworks/Simulation 热仿真分析软件

一般建模的流程是先由结构设计师建立设

备的计算机辅助设计(CAD)模型,然后由热设计工程师在该 CAD 模型上进行适合热仿真软件的二次建模。二次建模法可是由热仿真软件自带的转换程序进行 CAD 模型导入,也可在热仿真软件中手动重新建模。当模型热设计优化完成后,还需要反馈 CAD 模型修正信息给结构设计师,由结构设计师对 CAD 模型进行更改,完成整个设计闭环。在这个过程中,存在 CAD 模型的转换,不能完全重新利用,CAD 模型需修改乃至重新建模,这些都会占用设计人员相当多的时间和精力,且限制于热仿真软件的建模能力,某些 CAD 模型需简化或变通才能使用,而这些改变会影响仿真精度。

Solidworks 软件是结构设计师们广泛使用的三维设计软件,其具有良好的人机操作界面,强大的在线帮助系统,同时还有数量众多的设计插件,利用其中的 Simulation 能够热仿真分析,这使结构建模和热仿真分析同时进行,从而简化设计流程^[3]。

使用 Solidworks/Simulation 模块进行热分析需以下步骤:

收稿日期:2016-06-18

作者简介:吴畏(1985-),男,重庆梁平人,工程师,硕士,主要从事声光技术的研究。

- 1) 建立实体模型;
- 2) 定义材料属性;
- 3) 热载荷加载;
- 4) 划分网格;
- 5) 运行分析;
- 6) 生成分析图解^[4]。

2 AOTF 热分析模型建立

2.1 AOTF 工作原理

AOTF 是一种新型分光元件,如图 1 所示,射频电信号通过压电换能器将电信号转换为声波,声波进入晶体形成折射率光栅,当入射光进入声光晶体后,由于声光相互作用效应,当射频电信号频率同入射光波长之间满足一定的调谐关系时,入射光将发生衍射,而未衍射的入射光(零级光)则通过声光晶体透射出去,由于射频频率同光波长间存在一一对应关系,从而可通过射频频率的变换滤出相应波长的光波,实现快速实时的分光。

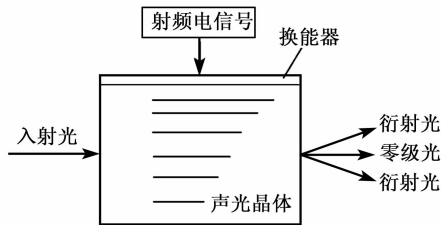


图 1 AOTF 工作原理图

2.2 AOTF 热分析模型

AOTF 主要由外壳、声光块体和匹配电路组成,而主要发热元件是声光块体,声光块体主要由压电换能器和声光晶体组成,本文分析声光块体包括正反两面压电换能器,经模型简化得到 AOTF 热分析模型如图 2~4 所示。

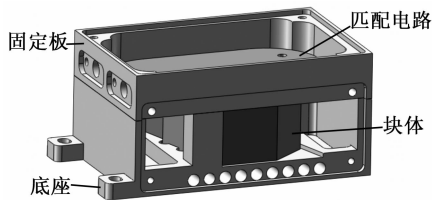


图 2 AOTF 热分析模型



图 3 AOTF 块体高频部分热分析模型

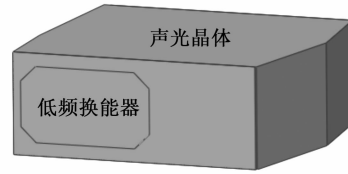


图 4 AOTF 块体低频部分热分析模型

3 AOTF 热分析参数设置

3.1 材料设置

AOTF 主要由块体、电路板和铝合金外壳组成,电路板板材为 FR4,板厚为 0.4 mm 和 1 mm,板上均为电感、电容等元件,因电感、电容均属无源元件故基本不产生热量,和 AOTF 块体产生的热量相比可忽略。在实际分析中不考虑电路板的发热情况,主要是考虑块体和外壳的温度场分布情况,几种材料的热特性参数如表 1 所示。

表 1 材料热特性参数

零件	材料	比热容/ (J/(kg·K))	热传导系数/ [W/(m·K)]
晶体	TeO ₂	200	2.35
换能器	LiNbO ₃	690	5.60
外壳	Al	900	230.00

3.2 环境温度设置

本文 AOTF 工作温度为 -20~+60 °C,工作环境为真空环境,故只考虑传导和辐射。

根据实际情况,主要分析 AOTF 在高温下的发热情况,故设定周围的环境温度为 60 °C 进行模拟,-20 °C 则未考虑。

3.3 零件连接设置

考虑实际 AOTF 的装配,块体与外壳间通过导热胶紧贴连接,考虑实际使用时采用导热填料后接触传热系数一般为 500~2 000 W/(m²·K),在此产品的热设计中我们以块体与外壳接触传热系数为 1 000 m²·K 进行分析;块体主要由晶体和换能器两部分组成,而晶体和换能器采用冷压焊工艺进行键合,故在实际分析中考虑晶体和换能器是紧密结合的,在外壳接触上,底座和盖板通过螺钉固定,同样取其接触传热系数为 1 000 m²·K。

3.4 热载荷设置

整个 AOTF 的热源主要是由射频功率源产生的输入功率,本文所分析 AOTF 的射频输入功率为 2 W。在实际工作中,2 W 的输入功率主要分配到以下几部分:

1) 匹配电路板。在实际使用中,匹配电路板上的主要元器件为电容、电感,实际功耗很小,在分析中不予考虑。

2) 反射部分。因为整个 AOTF 的匹配问题,有部分功率将反射回驱动电路中,在实际中每个频率点反射功率不等,故分析中忽略反射,只分析理想匹配状态下的热分布情况。

3) AOTF 块体部分。因匹配电路板功耗很小,且同时忽略了 AOTF 功率反射情况,故在热分析中 2 W 功率均分布于块体上。块体主要由换能器和晶体组成,功率通过换能器产生声波,传给晶体,最后被吸声面吸收,因此,块体部分的功率分布主要有换能器、机电耦合损耗、晶体内部及晶体吸声面 4 部分。其中高频和低频部分的声传输情况不同,如图 5 所示。

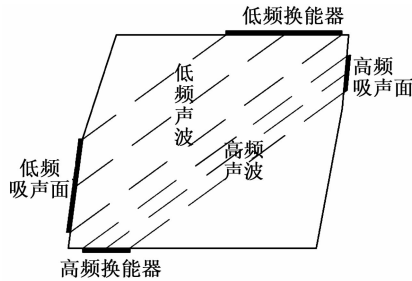


图 5 AOTF 块体声传输

a. 换能器部分。AOTF 采用 41°X -铌酸锂换能器,机电耦合系数为 0.68,在理想情况下,如果电功率完全转换,则换能器振动部分(高频或低频部分)上尚有功率为 $2 \times (1 - 0.68) = 0.64 \text{ W}$ 。

b. 机电耦合损耗。由于声光工艺的限制,不可能完全达到理想的机电耦合,根据现有声光工艺水平,约有 10% 的功率损耗转换成热,损耗的功率为 $2 \times 0.68 \times 0.1 = 0.14 \text{ W}$,而这部分热量会积聚在换能器和晶体上,在分析中考虑平均分布,即换能器和晶体各负载 0.07 W 的热载荷。

c. 晶体内部。晶体内部损耗主要是由晶体吸声引起的,根据 AOTF 工作频率,低频段工作频率区间为 27~41 MHz,经计算,晶体内部大致的声吸收系数为 0.29 dB/cm,同时晶体的声波传输距离约为 30 mm,故晶体内部损耗也约为 0.9 dB,损耗功率为 $2 \times 0.68 \times 0.9 \times (1 - 10^{-0.09}) = 0.23 \text{ W}$;高频段工作频率区间为 41~66 MHz,晶体内部大致的声吸收系数为 0.75 dB/cm,同时晶体的声波传输距离约为 35 mm,故晶体内部损耗约为 2.6 dB,损耗功率为

$2 \times 0.68 \times 0.9 \times (1 - 10^{-0.26}) = 0.55 \text{ W}$,所损耗的功率最后都转换为晶体内部的热量。

d. 晶体吸声面。除去以上几部分的功率损耗,剩余的功率以声波的形式传至晶体的吸声面继而在吸声面转换为热量(见图 5),高频部分剩余功率直接被高频吸声面吸收,功率为 $2 - 0.64 - 0.14 - 0.55 = 0.67 \text{ W}$;低频部分剩余功率直接被低频吸声面吸收,功率大小为 $2 - 0.64 - 0.14 - 0.23 = 0.99 \text{ W}$ 。

综上所述,在高频中,热载荷主要有换能器热载荷 0.71 W、晶体热载荷 0.62 W 及吸声面热载荷 0.67 W;在低频中,热载荷主要有换能器热载荷 0.71 W、晶体热载荷 0.3 W 及吸声面热载荷 0.99 W。

4 分析和试验

4.1 高频工作分析结果

将高频工作参数设置完成后,通过 Solidworks 热分析软件对高频部分工作情况进行分析,其结果如图 6~8 所示。

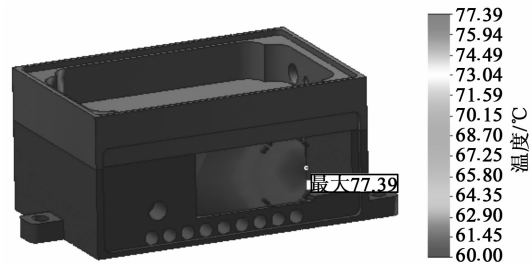


图 6 AOTF 高频工作总体温度分布图

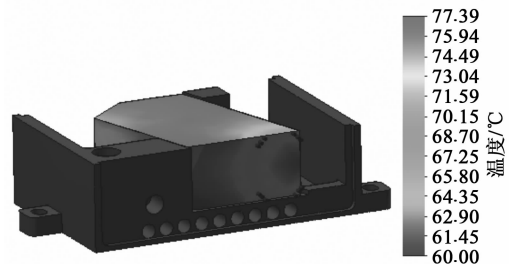


图 7 AOTF 高频工作温度分布图

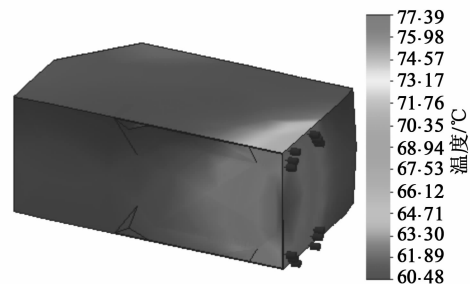


图 8 高频工作块体温度分布图

由图 6~8 可见,在 AOTF 低频换能器工作的

情况下,发热最严重的区域是块体换能器部分,其次是块体吸声部分,这与 AOTF 的实际工作情况吻合。经分析,在真空 60 °C 的环境下,高频部分工作达到稳态后,块体换能器部分温度约为 71.5 °C,吸声部分温度约为 77 °C,与外壳接触的大面温度基本保持在 60 °C。

4.2 低频工作分析结果

将低频工作参数设置完成后,通过 Solidworks 热分析软件对低频部分工作情况进行分析,得到结果如图 9~11 所示。

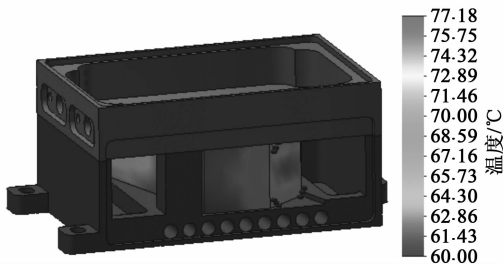


图 9 AOTF 低频工作总体温度分布图

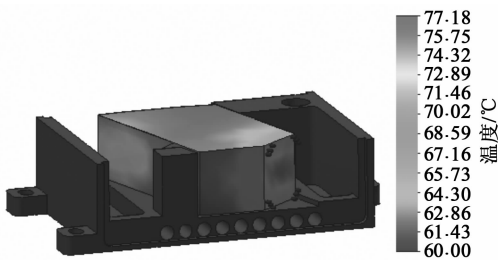


图 10 AOTF 低频工作温度分布图

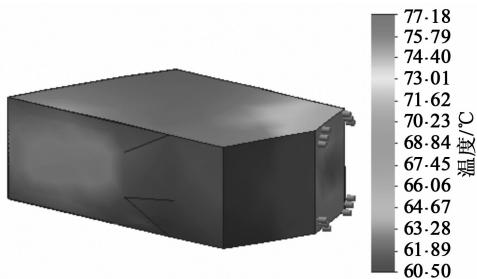


图 11 低频工作块体温度分布图

由图 9~11 可见,在 AOTF 低频换能器工作的

情况下,发热最严重的区域是块体吸声部分,其次是块体换能器部分,这与 AOTF 的实际工作情况吻合。经过分析,在真空 60 °C 的环境下,低频部分工作达到稳态后,块体换能器部分温度约为 70 °C,吸声部分温度约为 77 °C,与外壳接触的大面积温度基本保持在 60 °C。

4.3 试验验证

针对 AOTF 的工作环境,我们在热真空环境试验箱中进行了试验,试验框图如图 12 所示。在工作环境 60 °C 情况下,AOTF 驱动分别对 AOTF 的高频部分和低频部分施加相应的频率驱动信号,经过观测纸进行观察,AOTF 工作正常,可满足使用要求。

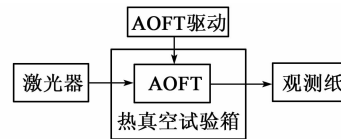


图 12 AOTF 试验框图

5 结束语

本文基于 AOTF 的实际工作状态,通过 Solidworks 软件建立了 AOTF 热分析的三维模型,在软件中对 AOTF 的热分析参数进行了详细设置,得到了 AOTF 实际工作状态下的热仿真结果,并通过试验对 AOTF 的工作情况进行了验证。通过理论仿真和试验验证,表明 AOTF 能满足设计和使用要求。

参考文献:

- [1] 张春光. 基于超光谱成像系统的声光可调滤波技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2008.
- [2] 郝永贵. 基于声光可调谐超光谱成像关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2009.
- [3] 周强. 使用 Solidworks 进行热设计仿真[J]. 计算机与网络,2010(23):55-58.
- [4] 贾成举. 基于 SolidWorks/Simulation 的差速箱热分析[J]. 纺织机械,2013(1):8-12.