

微细沟槽面提高航空设备柜 散热率的仿真分析*

Numerical Simulation on Improving Cooling Efficiency of Avionics Equipment Cabinet by Micro-Grooved Surface

西北工业大学机电学院 雒悦豪 田锡天
中航光电科技股份有限公司 陈学永 刘宇飞
中国人民解放军空军驻洛阳地区军代表室 马贵斌



雒悦豪

工程师,博士。毕业于北京航空航天大学,目前在西北工业大学和中航光电科技股份有限公司从事博士后科研工作,已发表论文 10 余篇,申请国家发明专利 4 项,现在主要从事航空电子设备的研究。

航电设备是现代飞机的综合显示控制与管理、目标探测、通信导航识别、本机信息处理、任务计算机、外挂物管理等子系统设备的总称,在整个飞机的运行过程中起着至关重要的作用^[1-2]。为满足不同功能的要求,

将微细沟槽表面应用到航空设备柜的散热板中能够在几乎不影响其机械结构性能的基础上大大提高散热效率,为航空设备柜的热设计提供了新的方向,具有重要的意义。

就必须把更多的航电设备安装于飞机中,因此,综合设备柜就成了必不可少的工具。

随着航电设备集成化和模块化的迅速发展,发热元件的安装密度就会急剧增加,散热问题就逐渐显现出来。长久以来,众多学者和专家都为此做出了重要的贡献,并且探索开发了一系列切实可行的方法和措施^[3]。根据流体传热学的相关理论,流体表面的散热效率不仅依赖于冷却介质自身的性能和流动状态,而且与热对流表面的接触面积也有着直接的影响。散热面积越大,流体表面的散热效果就越好。为增大热对流面积,引进附加材料的方法已经广泛采用,但随着材料的引入,一方面会增加系统的整体重量,另一方面会导致系统的结构发生变化,从而产生很多次生问题,如何在不影响机械结构性能的基

础上尽可能地提高散热效率就成为目前亟待解决的问题。

从 20 世纪 60 年代以来,为减小流体表面的摩擦阻力,仿生微细沟槽表面已经被广泛深入地研究和应用,并且取得了令人满意的效果^[4-7]。如今把微细沟槽表面应用到流体散热领域是一种大胆的尝试和探索。鉴于微细沟槽表面的加工工艺性,本文对微细直沟槽表面、微细半圆弧沟槽表面、微细十字沟槽表面进行分析和研究,对比它们和光滑表面在相同外界条件下的温度分布和变形位移量。

热仿真分析

1 微细沟槽表面的设计

微细沟槽散热表面的设计是本文研究的一个重要步骤。为对比不同表面的散热效果,本文对微细直沟

* 2012 年河南省博士后资助项目资助。

槽表面、微细圆弧形表面、微细十字沟槽表面进行了初步设计。

就微细沟槽表面制造工艺而言,精密铣削、线切割等是常用的加工方式,沟槽的尺寸取决于刀具刀尖的圆弧半径和线切割金属丝的直径。根据实际加工能力,微细沟槽的尺寸设计为 0.2mm,即对于微细直沟槽表面而言,其横截面是边长为 0.2mm 的三角形,对于微细半圆弧沟槽而言,其横截面是直径为 0.2mm 的半圆,对于十字沟槽表面而言,可以先在一个方向上进行加工微细直沟槽,然后将刀具或工件旋转 90°在垂直的方向上再进行加工。之所以微细沟槽表面的尺寸设计为 0.2mm,一方面是受机械加工能力的限制,另一方面对设备柜散热板而言,沟槽尺寸越小,对其机械结构性能的影响也越小。

2 网格划分

计算区域的网格划分是 ANSYS 软件数值分析的关键之一。为确保计算精度,网格应该划分地尽可能的细小,尤其是在热对流表面沟槽的尖端处。同时,考虑到计算机的性能和计算效率,计算域网格的总数应该控制在一定的范围内。

为控制网格的整体数量,计算域不是整个设备柜的散热板,而是其中一部分(2mm × 2mm × 2mm),即散热板的高度为 2mm,散热板的面积为 2mm × 2mm,为分析散热过程中不同沟槽之间相互作用和影响,热对流接触表面包含 10 个微细沟槽。不同计算域的网格划分如图 1 所示。其中,在热仿真分析和力学结构仿真分析中,体单元的类型分别设定为 Solid 70 和 Solid 45。

3 仿真结果

根据航电设备综合柜的实际工作情况,散热板选定某种合金,材料的导热系数设定为 80W/(m · K),材料的密度设定为 4000kg/m³,比热容设定为 600J/(kg · °C),沟槽外表面的冷却流动气体的温度设定

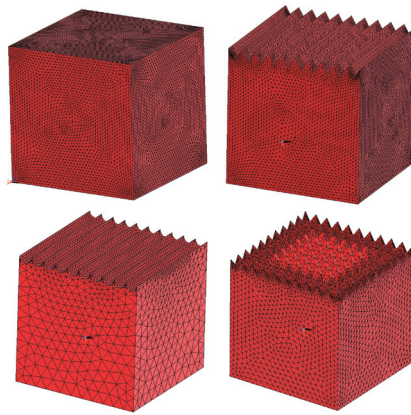


图1 不同计算域的网格划分

为 15 °C,热对流系数设定为 80W/(m² · K),计算区域下的温度设定为 150 °C,热对流系数为 15W/(m² · K)。

根据在 ANSYS 中仿真计算的热传递的结果可知,不同散热表面的面积及温度范围分布如表 1 所示。微细直沟槽和十字沟槽的热对流面积最大,同时降温效果也最好,其次是圆弧形沟槽表面,最后是光滑表面。可以得出结论:热对流接触表面的面积越大,散热板的温度就越低,其

表1 散热板的面积及温度范围分布

参数项	光滑面	直沟槽	圆弧形	十字沟槽
面积/mm ²	4	8	6.28	8
温度/°C	36.31~36.35	25.57~26.61	29.47~29.52	26.57~26.61

散热效果就越好,所以将微细沟槽表面应用到设备柜上能够大幅度降低零部件的温度。

结构力学的仿真分析

以上分析结果表明在散热效率方面微细沟槽表面显著高于光滑表面。但是对航空设备柜散热板而言,其不但具有散热功效,而且承担支撑作用。因此,在分析完其散热效果后还要对不同表面的力学结构性能进行研究。

设航空设备柜散热板材料的杨式模量为 1.2E11,泊松比为 0.3,在力学仿真过程中,表面的载荷设定为 3E6N/m²,方向由下表面垂直指向沟槽表面,其中一个侧面在 4 个方向上

完全约束(对于微细直沟槽表面和微细圆弧形表面区域,分别在垂直于沟槽方向和平行于沟槽方向的平面上施加完全约束)。

研究表明,光滑表面、十字沟槽表面、三角形沟槽表面、圆弧沟槽表面的最大应变分别为 0.182e-6m, 0.206e-6m, 0.195e-6m (0.202e-6m) 和 0.191e-6m (0.192e-6m),可得在相同的外界载荷和约束条件下,不同表面的应变的差别非常小。因此,微细沟槽表面可以广泛地应用到航空设备柜中,并且能够保证其机械性能几乎不受影响。

先进性分析

将微细沟槽表面应用到航空设备柜的散热板中,有着诸多优势:(1)散热面积增大从而能够在相同外界条件下大幅度降低设备柜元件的温度,提高散热效率。(2)对航空设备柜的机械结构性能几乎不产生影响,不占用额外的空间。(3)加工工艺

简单,可以采用精密铣削或者线切割的方式进行加工;(4)对微细沟槽表面的机械加工精度几乎没有要求。

结束语

本文提出将微细沟槽表面应用到航空设备柜中,并进行了细致的热仿真分析和力学结构分析,得出结论:将微细沟槽表面应用到航空设备柜的散热板中能够在几乎不影响其机械结构性能的基础上大大提高散热效率,为航空设备柜的热设计提供了新的方向,具有重要的意义。

本文共有参考文献 7 篇,因篇幅有限,未能一一列出,如有需要,请向本刊编辑部索取。(责编 良辰)