



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111902024 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 06

(21) 申请号 202010760659.2

(22) 申请日 2020.07.31

(71) 申请人 中国空间技术研究院  
地址 100194 北京市海淀区友谊路104号

(72) 发明人 刘百麟 李一帆 魏巍 刘绍然  
胡帼杰 闫森浩

(74) 专利代理机构 中国航天科技专利中心  
11009

代理人 马全亮

(51) Int. Cl.  
H05K 7/20 (2006.01)

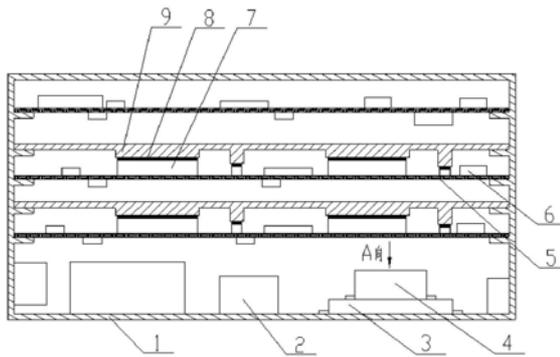
权利要求书3页 说明书8页 附图1页

(54) 发明名称

一种空间高热耗光电设备的散热方法及散热结构

(57) 摘要

本发明涉及一种空间高热耗光电设备的散热方法及散热结构, (1) 将机箱作为散热的主路径, 进行机箱的优化散热设计; (2) 将封装为一体结构的功能模块分为普通功能模块和具有精密控温需求的功能模块, 进行功能模块的优化散热设计; (3) 计算PCB板的当量导热率, 进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计, 强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径, 优化高发热元器件的布局; (4) 进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计, 提高高发热元器件的散热效果。针对现代电子设备集成度越来越高, 元器件的热流越来越大, 布局及安装空间有限, 使用约束限制条件大的情况, 本发明适用空间随机分布布局及安装空间有限的高热流器件散热及温度精密控制的热设计任务。



1. 一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于步骤如下:

(1) 将机箱作为设备功能模块、PCB板以及元器件散热的主路径,进行机箱的优化散热设计;

(2) 将封装为一体结构的功能模块分为普通功能模块和具有精密控温需求的功能模块,进行机箱内封装为一体结构的功能模块的优化散热设计;

(3) 计算PCB板的当量导热率,进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计,强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径,优化高发热元器件的布局;

(4) 进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计,提高高发热元器件的散热效果。

2. 根据权利要求1所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:进行机箱的优化散热设计,具体为:机箱壳体结构包括底板、侧板和盖板,均采用铝合金材料加工而成,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热。

3. 根据权利要求2所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:机箱表面进行高发射率表面处理是指喷涂黑漆或黑色阳极化;机箱壁厚不小于2.5mm,安装面平面度要求为任意100mm×100mm范围内平面度误差小于0.1mm。

4. 根据权利要求1所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:进行机箱内封装为一体结构的功能模块的优化散热设计,具体为:

对于普通功能模块,直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,在所述普通功能模块与机箱底板内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热,所述普通功能模块直接通过机箱进行散热。

5. 根据权利要求4所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:对于具有精密控温需求的功能模块,在机箱底板内侧安装面上先安装热电制冷器,再将所述具有精密控温需求的功能模块固定在热电制冷器上,通过热电制冷器对所述具有精密控温需求的功能模块进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述具有精密控温需求的功能模块通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器上,热电制冷器通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在所有安装面之间均填充导热填料,强化接触传热。

6. 根据权利要求5所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:所述普通功能模块是指最低工作温度低于0℃、最高工作温度高于50℃的功能模块,所述具有精密控温需求的功能模块是指激光器模块,其工作温度区间为 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

7. 根据权利要求1所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计,具体为:

增加PCB板覆铜层数和覆铜层厚度,提高PCB板的当量导热率,覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜;增加高发热元器件安装区域局部覆铜面积和覆铜层厚度;所述高发热元器件是指热耗 $\geq 0.3\text{W}$ 的元器件;

元器件与PCB板之间通过元器件管脚接触传热,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料,并采用螺钉安装固定,强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径;

布置元器件时,高发热元器件布局在PCB板的边缘,缩短高发热元器件与机箱壳体之间的传热路径;同时,高发热元器件分散布局,避免热源集中。

8. 根据权利要求7所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:所述PCB板的当量导热率计算如下:

$$\lambda_{\text{当量}} = \frac{\lambda_{\text{Cu}} \times (H_{\text{Cu},1} \times P_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} \times P_{\text{Cu},n}) + \lambda_{\text{PCB}} [H_{\text{Cu},1} \times (1 - P_{\text{Cu},1}) + \dots + H_{\text{Cu},n} \times (1 - P_{\text{Cu},n})] + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}}{H_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}}$$

式中, $\lambda_{\text{当量}}$ 为PCB板当量导热率, $\lambda_{\text{Cu}}$ 为覆铜层铜的导热率, $\lambda_{\text{PCB}}$ 为PCB板材导热率, $H_{\text{Cu},i}$ 为PCB板第*i*覆铜层厚度, $H_{\text{PCB},i}$ 为PCB板第*i*板材夹层厚度; $P_{\text{Cu},i}$ 为PCB板第*i*覆铜层覆铜面积百分比; $n$ 为PCB板覆铜层总层数; $m$ 为PCB板板材夹层总层数。

9. 根据权利要求1所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计,具体为:

通过散热面板对PCB板上高发热元器件进行加强散热,散热面板与机箱壳体之间通过螺钉进行机械连接,接触面之间填充导热填料;根据PCB板上高发热元器件的空间几何分布位置,在散热面板上对应投影位置设置结构凸台,即在散热面板上设置与高发热元器件几何位置对应的适配高度的结构凸台,使结构凸台与器件发热表面面接触;在结构凸台与器件接触面之间垫导热弹垫,通过导热弹垫的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻;在高发热器件四周的PCB板与散热面板上均布设置适当数量的螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热面板结构凸台、导热弹垫、器件发热表面三者之间的接触。

10. 根据权利要求9所述的一种空间高热耗光电设备的散热方法,其特征在于:散热面板采用铝合金6063材料加工而成,散热面板与机箱壳体之间的连接接触面宽度不小于5mm,导热弹垫压缩后厚度小于0.3mm。

11. 一种采用如权利要求1所述的空间高热耗光电设备的散热方法实现的空间高热耗光电设备的散热结构,其特征在于包括:机箱壳体(1)、普通功能模块(2)、热电制冷器(3)、精密控温模块(4)、PCB板(5)、普通元器件(6)、高发热元器件(7)、导热弹垫(8)以及散热面板(9);

机箱壳体(1)包括底板、侧板和盖板,均采用铝合金材料加工而成,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热;

普通功能模块(2)直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,直接通过机箱进行散热,在所述普通功能模块与机箱内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热;

热电制冷器(3)固定安装在机箱底板内侧安装面上,精密控温模块(4)安装在热电制冷器(3)上,通过热电制冷器(3)对精密控温模块(4)进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述精密控温模块(4)通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器(3)上,热电制冷器(3)通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在安装面之间均填充导热填料,强化接触传热;

PCB板(5)安装在机箱壳体(1)内,PCB板(5)的覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜,PCB板(5)上安装高发热元器件的区域进行局部增大覆铜面积和增大覆铜层厚度处理;

普通元器件(6)和高发热元器件(7)均安装在PCB板(5)上,且与PCB板(5)之间通过元器件管脚接触传热,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板(5)安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料,并采用螺钉安装固定;

高发热元器件(7)布局在PCB板(5)的边缘,缩短高发热元器件(7)与机箱壳体(1)之间的传热路径;同时,高发热元器件(7)分散布局,避免热源集中;

通过散热面板(9)对PCB板上的高发热元器件(7)进行加强散热,散热面板(9)与机箱壳体(1)之间通过螺钉进行机械连接,接触面之间填充导热填料;根据PCB板上高发热元器件(7)的空间几何分布位置,散热面板(9)上对应投影位置设置有结构凸台,使结构凸台与高发热元器件(7)发热表面面接触;在结构凸台与高发热元器件(7)接触面之间垫导热弹垫(8),通过导热弹垫(8)的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻;在高发热器件(7)四周的PCB板(5)与散热面板(9)上均布设置螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热面板(9)结构凸台、导热弹垫(8)、高发热器件(7)发热表面三者之间的接触。

12. 根据权利要求11所述的空间高热耗光电设备的散热结构,其特征在于:机箱表面进行高发射率表面处理是指喷涂黑漆或黑色阳极化;机箱壁厚不小于2.5mm,安装面平面度要求为任意100mm×100mm范围内平面度误差小于0.1mm;所述高发热元器件是指热耗 $\geq 0.3\text{W}$ 的元器件;

普通功能模块(2)是指最低工作温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 、最高工作温度高于 $50^{\circ}\text{C}$ 的功能模块,精密控温模块(4)是指激光器模块,其工作温度区间为 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ ;

散热面板采用铝合金6063材料加工而成,散热面板与机箱壳体之间的连接接触面宽度不小于5mm,导热弹垫压缩后厚度小于0.3mm。

## 一种空间高热耗光电设备的散热方法及散热结构

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种空间高热耗光电设备的散热方法及散热结构,属于空间设备热设计技术领域。

### 背景技术

[0002] 随着载荷技术快速发展,电子设备的集成度越来越高,性能要求也越来越高,设备内部的电子器件结构尺寸越来越小,功耗也越来越大,器件的散热设计及温度控制难度显著增大。若热设计方法不当,会严重影响设备的性能指标及使用寿命,尤其是空间电子设备,譬如GEO航天器使用电子设备,一般在轨空间运行需长达15年以上,其热设计方法的可靠性十分重要。在电子产品中,高温对电子产品的影响包括绝缘性能退化、元器件损坏、材料的热老化、低熔点焊缝开裂及焊点脱落,从而导致整个产品的性能下降以至完全失效。据统计,电子设备的失效有55%因高温导致,随着温度的升高,其失效率成指数形式增长。电子元器件是电子、电气系统的基础产品,电子元器件温度是影响电子设备工作可靠性的重要因素,可见对电子设备及元器件开展热设计,使其选用的电子元器件温度控制在规定的允许的工作温度范围内,是有效保证和提高其可靠性的技术手段。

[0003] 电子设备主要散热路径是借助设备机箱对外散热,常用的热设计方法是元器件散热是通过其安装的PCB电路板传导到机箱壳体(PCB板与机箱壳体机械连接),由于PCB板主要成份是玻璃钢或陶瓷,导热率较低,传热效果有限,对于大热耗高热流器件,除了借助PCB板散热外,通常需要采用导热金属条、微型热管等将元器件与机箱壳体搭接强化其散热,这种散热设计带来较强的限制条件,如布局、足够的安装空间等,且安全性与可靠性较低,不适用于精确的温度范围控制。综上所述,现代电子设备集成度越来越高,元器件的热流越来越大,布局及安装空间十分有限,现有的电子设备热设计技术,使用约束限制条件很大,设计代价高,已不能适用空间随机分布布局及安装空间有限的高热流器件散热及温度精密控制的热设计任务需求,亟需发展新的高效热设计方法。

### 发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种空间高热耗光电设备的散热方法,以解决现有方法不适用于高热流元器件随机布局散热及精密控温的缺点与不足。

[0005] 本发明采用的技术方案是:

[0006] 一种空间高热耗光电设备的散热方法,步骤如下:

[0007] (1) 将机箱作为设备功能模块、PCB板以及元器件散热的主路径,进行机箱的优化散热设计;

[0008] (2) 将封装为一体结构的功能模块分为包括普通功能模块和具有精密控温需求的功能模块,进行机箱内封装为一体结构的功能模块的优化散热设计;

[0009] (3) 计算PCB板的当量导热率,进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计,强化PCB

板与机箱壳体之间的传导散热路径,优化高发热元器件的布局;

[0010] (4) 进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计,提高高发热元器件的散热效果。

[0011] 进一步的,进行机箱的优化散热设计,具体为:机箱壳体结构包括底板、侧板和盖板,均采用铝合金材料加工而成,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热。

[0012] 进一步的,机箱表面进行高发射率表面处理是指喷涂黑漆或黑色阳极化;机箱壁厚不小于2.5mm,安装面平面度要求为任意100mm×100mm范围内平面度误差小于0.1mm。

[0013] 进一步的,进行机箱内封装为一体结构的功能模块的优化散热设计,具体为:

[0014] 对于普通功能模块,直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,在所述普通功能模块与机箱内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热,所述普通功能模块直接通过机箱进行散热。

[0015] 进一步的,对于具有精密控温需求的功能模块,在机箱底板内侧安装面上先安装热电制冷器,再将所述具有精密控温需求的功能模块固定在热电制冷器上,通过热电制冷器对所述具有精密控温需求的功能模块进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述具有精密控温需求的功能模块通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器上,热电制冷器通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在所有安装面之间均填充导热填料,强化接触传热。

[0016] 进一步的,所述普通功能模块是指最低工作温度低于0℃、最高工作温度高于50℃的功能模块,所述具有精密控温需求的功能模块是指激光器模块,其工作温度区间为35±1℃。

[0017] 进一步的,进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计,具体为:

[0018] 增加PCB板覆铜层数和覆铜层厚度,提高PCB板的当量导热率,覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜;增加高发热元器件安装区域局部覆铜面积和覆铜层厚度;所述高发热元器件是指热耗≥0.3W的元器件;

[0019] 元器件与PCB板之间通过元器件管脚接触传热,在满足电装要求时,元器件管脚长度应尽可能短,减小传导热阻,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料,并采用螺钉安装固定,强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径;

[0020] 布置元器件时,高发热元器件布局在PCB板的边缘,缩短高发热元器件与机箱壳体之间的传热路径;同时,高发热元器件分散布局,避免热源集中。

[0021] 进一步的,所述PCB板的当量导热率计算如下:

$$[0022] \quad \lambda_{\text{当量}} = \frac{\lambda_{\text{Cu}} \times (H_{\text{Cu},1} \times P_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} \times P_{\text{Cu},n}) + \lambda_{\text{PCB}} [H_{\text{Cu},1} \times (1 - P_{\text{Cu},1}) + \dots + H_{\text{Cu},n} \times (1 - P_{\text{Cu},n}) + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}]}{H_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}}$$

[0023] 式中, $\lambda_{\text{当量}}$ 为PCB板当量导热率, $\lambda_{\text{Cu}}$ 为覆铜层铜的导热率, $\lambda_{\text{PCB}}$ 为PCB板材导热率, $H_{\text{Cu},i}$ 为PCB板第*i*覆铜层厚度, $H_{\text{PCB},i}$ 为PCB板第*i*板材夹层厚度; $P_{\text{Cu},i}$ 为PCB板第*i*覆铜层覆铜面积百分比;*n*为PCB板覆铜层总层数;*m*为PCB板板材夹层总层数。

[0024] 进一步的,进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计,具体为:

[0025] 通过散热面板对PCB板上高发热元器件进行加强散热,散热面板与机箱壳体之间

通过螺钉进行机械连接,接触面之间填充导热填料;根据PCB板上高发热元器件的空间几何分布位置,在散热面板上对应投影位置设置结构凸台,即在散热面板上设置与高发热元器件几何位置对应的适配高度的结构凸台,使结构凸台与器件发热表面面接触;在结构凸台与器件接触面之间垫导热弹垫,通过导热弹垫的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻;在高发热器件四周的PCB板与散热面板上均布设置适当数量的螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热面板结构凸台、导热弹垫、器件发热表面三者之间的接触。

[0026] 进一步的,散热面板采用铝合金6063材料加工而成,散热面板与机箱壳体之间的连接接触面宽度不小于5mm,导热弹垫压缩后厚度小于0.3mm。

[0027] 本发明还提出一种空间高热耗电设备的散热结构,包括:机箱壳体、普通功能模块、热电制冷器、精密控温模块、PCB板、普通元器件、高发热元器件、导热弹垫以及散热面板;

[0028] 机箱壳体包括底板、侧板和盖板,均采用铝合金材料加工而成,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热;

[0029] 普通功能模块直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,直接通过机箱进行散热,在所述普通功能模块与机箱内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热;

[0030] 热电制冷器固定安装在机箱底板内侧安装面上,精密控温模块安装在热电制冷器上,通过热电制冷器对精密控温模块进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述精密控温模块通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器上,热电制冷器通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在安装面之间均填充导热填料,强化接触传热;

[0031] PCB板安装在机箱壳体内,PCB板的覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜,PCB板上安装高发热元器件的区域进行局部增大覆铜面积和增大覆铜层厚度处理;

[0032] 普通元器件和高发热元器件均设置在PCB板上,且与PCB板之间通过元器件管脚接触传热,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料,并采用螺钉安装固定;

[0033] 高发热元器件布局在PCB板的边缘,缩短高发热元器件与机箱壳体之间的传热路径;同时,高发热元器件分散布局,避免热源集中;

[0034] 通过散热面板对PCB板上的高发热元器件进行加强散热,散热面板与机箱壳体之间通过螺钉进行机械连接,接触面之间填充导热填料;根据PCB板上高发热元器件的空间几何分布位置,散热面板上对应投影位置设置有结构凸台,使结构凸台与高发热元器件发热表面面接触;在结构凸台与高发热元器件接触面之间垫导热弹垫,通过导热弹垫的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻;在高发热器件四周的PCB板与散热面板上均布设置螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热面板结构凸台、导热弹垫、高发热器件发热表面三者之间的接触。

[0035] 本发明与现有技术相比的有益效果是:

[0036] (1) 本发明提出一种适合空间环境下的设备高热流器件热设计方法,方法普适通

用性好,广泛适用于空间设备热设计。

[0037] (2) 本发明提出散热结构设计,可有效解决空间多点随机分布的高热流器件热收集、传输与排散难题,具有传热能力强、结构装配简单、高可靠、设计约束小、成本低等优势。

[0038] (3) 本发明提出的热电制冷器(TEC)技术,解决了对温度高精密要求的模块及元器件的精密控温难题,可实现 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 的温度区间精密控制,具有控温精度高、低功耗、体积小,重量轻、好用易用的优点。同时,设计接口简化,显著节省热设计资源。

[0039] (4) 本发明提出的模块分类散热设计方法,按模块温度区间而采取相应的热控措施,可显著节省设计成本。

[0040] (5) 本发明提出的散热设计方法,基于选材、热控涂层、结构设计等被动热控技术,其散热效能高,高可靠,适合长寿命空间设备散热设计。

## 附图说明

[0041] 图1为本发明空间高热耗光电设备的散热设计示意图;

[0042] 图2为本发明空间高热耗光电设备的散热方法流程图。

## 具体实施方式

[0043] 针对空间设备随机分布的高热流器件散热及精密控温问题,提出一种热设计方法,兼顾机电热一体化设计原则,如图2所示,具体方法如下:

[0044] (1) 将机箱作为设备功能模块、PCB板以及元器件散热的主路径,进行机箱的优化散热设计;

[0045] 机箱壳体选择低比重、高导热率材料加工而成,本发明中采用铝合金材料。机箱壳体结构包括底板、侧板和盖板,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热。机箱壁厚一般不小于2.5mm,内外两侧的安装面平面度要求为任意 $100\text{mm}\times 100\text{mm}$ 范围内平面度误差小于0.1mm。机箱表面进行高发射率表面处理(喷涂黑漆或黑色阳极化),强化空间辐射散热。

[0046] (2) 将封装为一体结构的功能模块分为包括普通功能模块和具有精密控温需求的功能模块,进行机箱内封装为一体结构的功能模块的优化散热设计。

[0047] 对于普通功能模块,直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,在所述普通功能模块与机箱内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热,所述普通功能模块直接通过机箱进行散热。

[0048] 对于具有精密控温需求的功能模块,在机箱底板内侧安装面上先安装热电制冷器(TEC),再将所述具有精密控温需求的功能模块固定在热电制冷器上,通过热电制冷器对所述具有精密控温需求的功能模块进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述具有精密控温需求的功能模块通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器上,热电制冷器通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在所有安装面之间均填充导热填料,强化接触传热。

[0049] 本发明中光电设备整体工作环境温度在 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 区间,机箱内的普通功能模块一般是指工作温度区间大于光电设备整体工作环境温度范围 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ ,即普通功能模块

是指工作区间比较宽泛,比如最低工作温度低于0℃、最高工作温度高于50℃的功能模块,所述具有精密控温需求的功能模块是指激光器(LD)模块,其工作温度区间非常严格,一般为 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

[0050] (3) 计算PCB板的当量导热率,进行机箱内安装的PCB板的优化散热设计,强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径,优化高发热元器件的布局;

[0051] 元器件借助其安装的PCB板向机箱壳体传热,在满足电性能设计的前提下,增加PCB板覆铜层数和覆铜层厚度,提高PCB板的当量导热率,覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜。尤其是增强高发热元器件( $\geq 0.3\text{W}$ )安装区域局部覆铜面积或覆铜层厚度,其覆铜层延伸至电路板安装边框。元器件与PCB板之间通过器件管脚接触传热,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料(涂导热脂),并采用螺钉安装固定,强化PCB板与机箱壳体之间的传导散热路径。合理布局元器件,在布置元器件时,功率大、发热量大的元器件布局在PCB板的边缘,缩短高发热元器件与机箱壳体之间的传热路径。大功率的元器件尽量分散布局,避免热源集中,优化高发热器件布局。

[0052] PCB板的当量导热率计算如下:

$$[0053] \quad \lambda_{\text{当量}} = \frac{\lambda_{\text{Cu}} \times (H_{\text{Cu},1} \times P_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} \times P_{\text{Cu},n}) + \lambda_{\text{PCB}} [H_{\text{Cu},1} \times (1 - P_{\text{Cu},1}) + \dots + H_{\text{Cu},n} \times (1 - P_{\text{Cu},n}) + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}]}{H_{\text{Cu},1} + \dots + H_{\text{Cu},n} + H_{\text{PCB},1} + \dots + H_{\text{PCB},m}}$$

[0054] 式中, $\lambda_{\text{当量}}$ —PCB板当量导热率,单位: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ ;

[0055]  $\lambda_{\text{Cu}}$ —覆铜层铜的导热率,单位: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ ;

[0056]  $\lambda_{\text{PCB}}$ —PCB板材导热率,单位: $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ ;

[0057]  $H_{\text{Cu},i}$ —PCB板第*i*覆铜层厚度,单位:m;

[0058]  $H_{\text{PCB},i}$ —PCB板第*i*板材夹层厚度,单位:m;

[0059]  $P_{\text{Cu},i}$ —PCB板第*i*覆铜层覆铜面积百分比,单位:%;

[0060]  $n$ —PCB板覆铜层总层数,单位:层;

[0061]  $m$ —PCB板板材夹层总层数,单位:层。

[0062] (4) 进行PCB板上高发热元器件的散热加强设计,提高高发热元器件的散热效果。

[0063] 针对PCB板上随机分布的大热耗高热流元器件,设计专用的散热面板作为热收集与传输装置,实现空间随机分布的大热耗高热流元器件远程高效散热。

[0064] 具体热设计:在PCB板的元器件发热面设计一个散热面板,散热面板采用低比重、高导热率铝合金(6063)材料加工而成,散热面板与机箱壳体结构通过螺钉进行机械连接,连接接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料。根据PCB板上高发热元器件的空间几何分布位置,在散热面板上对应投影位置进行结构凸台赋形设计,即在散热面板上设计与高发热元器件几何位置对应的适配高度的结构凸台,使之与器件发热表面面接触,详见图1。考虑到加工装配间隙设计,在结构凸台与器件接触面之间垫厚度小于0.3mm(压缩后)的导热弹垫(推荐选用Sil-Pad 2000系列),靠导热弹垫的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻。

[0065] 在高发热器件四周的PCB板与散热面板上均布设计适当数量的螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热结构凸台、导热弹垫、器件发热表面三者之间的紧密接触。在散热面板的非主要传热路径,可根据减重需求,开减轻孔或槽。

[0066] 根据上述设计的散热方法,实现一种空间高热耗光电设备的散热结构,如图1所示,包括:机箱壳体1、普通功能模块2、热电制冷器3、精密控温模块4、PCB板5、普通元器件6、高发热元器件7、导热弹垫8以及散热面板9;

[0067] 机箱壳体1包括底板、侧板和盖板,均采用铝合金材料加工而成,底板和侧板连接在一起且铣成一个整体结构,减小传热路径的热阻,盖板固定在侧板上侧用于将机箱封闭;机箱底板内外两侧的安装面为全接触表面,无减重槽,机箱表面进行高发射率表面处理,强化空间辐射散热;

[0068] 普通功能模块2直接布局安装在机箱底板内侧安装面上,直接通过机箱进行散热,在所述普通功能模块与机箱内侧安装面之间填充导热填料,强化接触传热;

[0069] 热电制冷器3固定安装在机箱底板内侧安装面上,精密控温模块4安装在热电制冷器3上,通过热电制冷器3对精密控温模块4进行加热或制冷的双向热流控制,实现温度区间精密控制;所述精密控温模块4通过螺钉或金属卡箍安装固定在热电制冷器3上,热电制冷器3通过螺钉安装在机箱底板内侧安装面上,确保所有接触面紧密接触,并在安装面之间均填充导热填料,强化接触传热;

[0070] PCB板5安装在机箱壳体1内,PCB板5的覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜,PCB板5上安装高发热元器件的区域进行局部增大覆铜面积和增大覆铜层厚度处理;

[0071] 普通元器件6和高发热元器件7均设置在PCB板5上,且与PCB板5之间通过元器件管脚接触传热,元器件与PCB板之间接触面填充导热填料,PCB板5安装边框与机箱壳体安装接触面宽度不小于5mm,接触面之间填充导热填料,并采用螺钉安装固定;

[0072] 高发热元器件7布局在PCB板5的边缘,缩短高发热元器件7与机箱壳体1之间的传热路径;同时,高发热元器件7分散布局,避免热源集中;

[0073] 通过散热面板9对PCB板上的高发热元器件7进行加强散热,散热面板9与机箱壳体1之间通过螺钉进行机械连接,接触面之间填充导热填料;根据PCB板上高发热元器件7的空间几何分布位置,散热面板9上对应投影位置设置有结构凸台,使结构凸台与高发热元器件7发热表面面接触;在结构凸台与高发热元器件7接触面之间垫导热弹垫8,通过导热弹垫8的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻;在高发热器件7四周的PCB板5与散热面板9上均布设置螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧散热面板9结构凸台、导热弹垫8、高发热器件7发热表面三者之间的接触。

[0074] 实施例:

[0075] 应用本发明方法,对某卫星光电子设备进行热设计,设备主要由电源模块、EDFA(掺铒光纤放大器)模块、LD(激光器)模块、数据处理板、光信号收发控制板、大功率FPGA器件等组成。热设计具体实施如下:

[0076] (1) 机箱热设计

[0077] 机箱壳体结构材料为铝合金材料(6063铝合金板材),采取六面箱体结构设计,机箱安装底板厚度为3.5mm,其它5块面板厚度均为2.5mm。除了顶盖板外,其它4块侧面板与底板铣成一个整体结构,减小侧面板与底板之间的传热热阻,且底板内外两侧安装面均为全接触表面,无减重槽,安装面平面度要求为任意100mm×100mm范围内平面度误差小于0.1mm。顶盖板与其连接的各侧面板搭接宽度均为10mm,并通过螺钉连接安装。机箱壳体结

构所有相互连接的各面板接触面之间涂覆导热脂,以减小接触热阻。

[0078] 机箱外表面进行黑色阳极化或喷涂黑漆(表面发射率 $\geq 0.85$ ),强化辐射散热。

[0079] (2) 模块热设计

[0080] 电源模块、EDFA模块等模块通过螺钉直接安装在机箱底面板的内表面上,所有模块的安装接触面之间均涂导热脂,以减小接触热阻。并在模块外表面(安装面除外)黑色阳极化或喷涂黑漆(表面发射率 $\geq 0.85$ ),强化辐射散热。

[0081] LD(激光器)模块对温度具有精密控制( $35 \pm 1^\circ\text{C}$ )需求,对其采用TEC(热电制冷器)对其进行温度控制,LD模块的热面安装在TEC上表面(冷面),而TEC下表面(散热面)通过螺钉直接安装在机箱底面板的内表面,并用紫铜卡箍将LD模块压紧固定在TEC上表面,紫铜卡箍的两端通过螺钉固定在机箱底板上,所有安装接触面之间均涂覆导热脂,以减小接触热阻。

[0082] (3) PCB电路板热设计

[0083] PCB电路板(数据处理板、光信号收发控制板)厚度约2mm,板材为环氧玻璃布。为改善PCB板与机箱壳体之间的导热路径,给元器件提供一个良好的散热通道,在电路板设计时采取如下措施:

[0084] 1) 在满足电性能设计的前提下,PCB板内覆8层不同厚度的铜层,详见表1。

[0085] 表1PCB电路板内覆铜层

[0086]

层数	铜层厚度( $\mu\text{m}$ )	覆铜面积百分比(%)	备注
1	70	79.56	
2	35	94.28	
3	35	83.16	
4	35	90	
5	35	90	
6	35	90	
7	35	90	
8	70	91.48	

[0087] 2) 内覆铜层延伸到电路板安装边框边缘,并在电路板安装边框的外表面覆铜。

[0088] 3) 加大高发热元器件( $\geq 0.3\text{W}$ )安装区域局部覆铜面积或覆铜层厚度,其覆铜层延伸至电路板安装边框,本实施例中高发热元器件为FPGA芯片。

[0089] 4) PCB电路板安装边框与机箱结构安装凸台接触面宽度为10mm,通过螺钉安装固定,安装接触面涂导热脂。

[0090] 按公式(1)计算PCB电路板的当量导热率约为 $52.5\text{W}/(\text{m} \cdot \text{k})$ 。

[0091] (4) 元器件热设计

[0092] 元器件在PCB电路板上布局设计时,在电路设计允许的前提下,大功率、发热量大的元器件(FPGA芯片)布局在PCB板边框边缘,缩短FPGA芯片与机箱壳体之间的传热路径。元器件应分散布局,尽量分布均匀,尤其是大功率、发热量大的元器件,避免热源集中。元器件在PCB板安装时,安装管脚长度应尽可能短,并在发热的元器件安装面与PCB板之间涂覆导热硅橡胶,减小传热热阻。

[0093] 针对PCB板上随机分布的高发热元器件,设计散热面板作为热收集与传输加强装

置,实现空间随机分布的点热源远程热排散。采取在PCB板上元器件发热面设计一个散热面板结构,散热面板采用低比重、高导热率铝合金(6063铝合金板材)材料加工而成,散热面板结构与机箱壳体结构通过螺钉进行机械连接,连接接触面宽度为10mm,接触面之间填充导热脂。

[0094] 根据PCB板上高发热元器件的空间几何分布位置,在散热面板上对应投影位置进行结构凸台赋形设计,结构凸台几何中心与其连接的高发热元器件几何中心重合,凸台外轮廓比元器件发热面的外轮廓外扩5mm,凸台的高度与其连接的高发热元器件高度进行适配设计。

[0095] 考虑到加工、装配,留有0.2mm~0.3mm的间隙,装配时,在结构凸台与元器件接触面之间垫厚度小于0.3mm(压缩后)的Sil-Pad 2000系列导热弹垫,靠导热弹垫的弹性压缩保证三者之间紧密接触,减小接触热阻。为了保证结构凸台、导热弹垫与元器件之间紧密稳固接触,在元器件四周的PCB板及对应的散热面板位置均布设计2个螺钉安装接口,通过螺钉再次压紧结构凸台、导热弹垫与元器件发热表面三者之间的紧密接触,减小接触传热热阻。

[0096] 完成上述热设计及实施后,在空间环境模拟器内模拟设备空间飞行工作环境(冷黑、真空、热环境)与工作模式,对散热方法进行热试验验证,验证结果表明:所有模块均满足工作温度范围,LD(激光器)模块温度控制在 $35\pm 1^{\circ}\text{C}$ 之内;所有元器件均满足温度一级降额要求,且仍有20%以上的余量,其中高热发的FPGA(热耗10W)温度距离一级降额温度约有 $15^{\circ}\text{C}$ 余量,散热面板结构热排散效果良好。

[0097] 本发明说明书中未作详细描述的内容属本领域专业技术人员的公知技术。

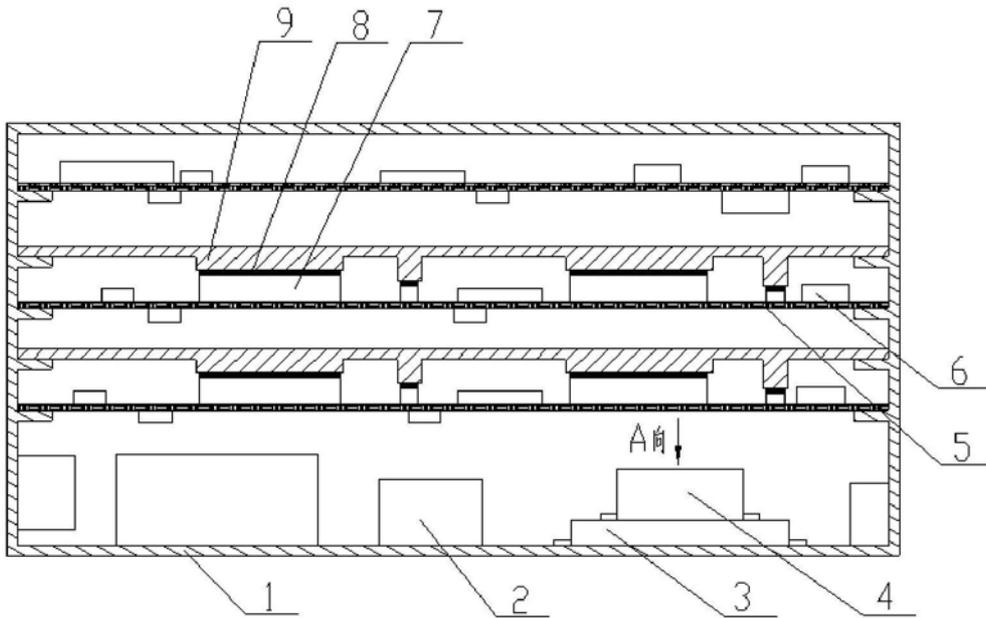


图1

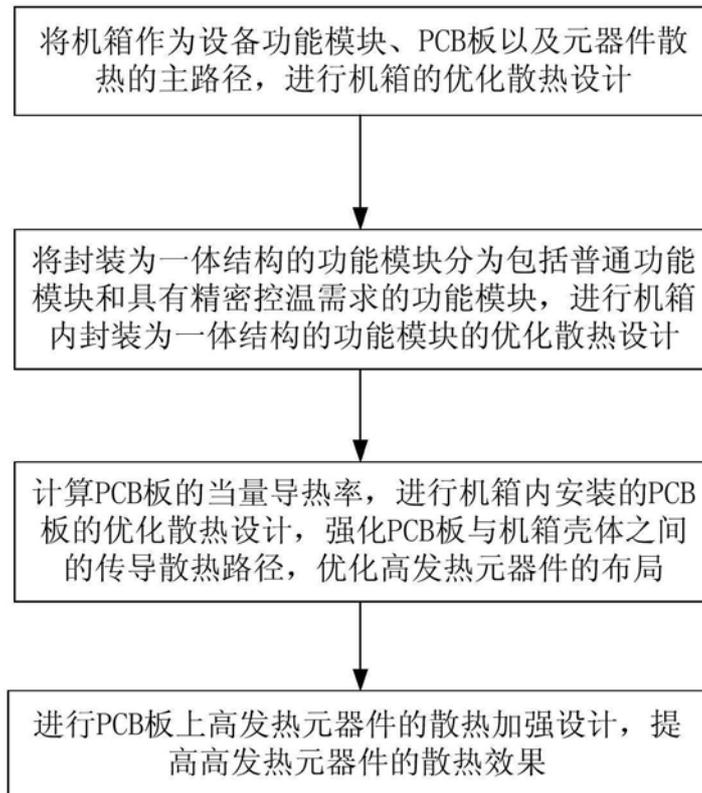


图2