

· 结构与工艺 ·

电子设备热可靠性设计研究

张冬梅¹, 康大勇²

(1. 锦州中理外轮理货有限公司 辽宁 锦州 121000 2. 中国洛阳电子装备试验中心 河南 洛阳 471003)

摘要:介绍了热控制设计的目标和基本原则,在热控制方法上,详述了元器件布局、热屏蔽、模块自然散热等自然冷却设计方法,并结合实际应用进行了举例说明,给出了热分析流程和注意事项,对开展热试验提出了切实有效的试验方法,最后就如何提高热设计水平给出了一些感悟和建议。

关键词:电子设备 热控制 热分析

中图分类号: TN602

文献标识码: A

文章编号: 1673-1255(2018)-02-0054-05

Design and Research on Heat Reliability for Electronic Equipments

ZHANG Dong-mei¹, KANG Da-yong²

(1. China Ocean Shipping Tally Co., LTD. Jinzhou, Jinzhou 121000, China;

2. Luoyang Electronic Equipment Test Center of China, Luoyang 471003, China)

Abstract: Objects and basic principles of heat control design are introduced. The heat control methods such as the natural cooling design methods for component location, heat shield, module natural heat radiation are introduced in detail. And examples are described with applications. The flow of heat analysis and notices are given. The effective experimental methods are proposed for heat tests. The reviews and advices for enhancing effectively the heat design level are given.

Key words: electronic equipment; heat control; heat analysis

随着器件小型化、微型化和集成技术的不断发展,电子设备在有限平台空间内,其种类及密集度逐渐增加,已成为一项日趋复杂的系统工程。为了保证其热可靠性以及对温度变化恶劣环境条件的适应能力,电子设备的热控制和热分析技术得到了普遍的重视和发展。

1 热设计

1.1 目标和基本原则

随着装备密度的提高,电子设备的热流密度也在迅速增加,各自散热量不同,对相同的环境条件表现出不同的敏感性。

电子设备热控制的目的是防止电子元器件出现热失效,要为芯片级、元件级、组件级和系统级提供良好的热环境,保证它们在规定的热环境下,能按预定的参数正常、可靠地工作。开展热设计的基本任务是设计低热阻通道,保证热量迅速传递出去,以便满足环境要求。在确定热控制方案时,重点考虑电子元器件的最高允许温度和最大功耗,此外,热环境的可变性、机械振动和电磁干扰等因素也要同步考虑。

1.2 热控制方法

电子设备的热控制方法,是要确定元器件或设备的冷却方法。冷却方法的选择直接影响设备的

收稿日期 2018-01-05

作者简介 张冬梅(1970-),女,学士,山东临清人,主要研究方向为电子工程技术;康大勇(1978-),男,硕士,主要研究方向为光电技术。

组装设计、可靠性、质量和成本等。要有效地控制元器件或设备的温度,必须首先确定它们的发热量、与散热有关的结构尺寸、工作环境条件及其他像密封、气压等特殊要求。

按照传热机理不同,冷却方法可分为自然冷却、强迫冷却、蒸发冷却、热电致冷等方法。根据设计侧重点不同,选择不同的冷却方法。自然冷却的优点是可靠性高,成本低。它不需要通风机一类的冷却驱动装置,避免了因机械部件的磨损或故障影响系统可靠性。因此,在考虑冷却方法时,应优先考虑自然冷却方法。对一些热流密度比较大、温升要求比较高的设备中,则多数采用强迫空气冷却。强迫空气冷却与液体冷却、蒸发冷却相比较,具有设备简单、成本低的特点。蒸发冷却适用于功率密度很高的元器件或部件。热电致冷不需外界动力,可靠性高,缺点是质量大,效率低。热管传热效能要比相同的金属的导热要高几十倍,且两端温差小。

冷却方法确定后,要仔细分析电子设备中各类电子元器件的安装方案和设备的整体结构形式。从热控制要求出发,应尽量减小传热路径的热阻,合理分配各个传热环节的热阻值;正确布置发热元件与热敏元件的位置及间距;注意印制板组装件的放置方向和它们的间距;保证冷却气流均匀流过发热元器件,形成合理的气流通路。在工程中应用较多的是自然冷却、强迫风冷和冷板冷却设计方法。文中重点对自然冷却设计方法进行详述。

基于平台有限的安装空间和功耗限制,一般多倾向于采用自然冷却方法,较少采用风冷、液冷等较为复杂的散热方式。

1.3 自然冷却详细设计及关注点

自然冷却是电子设备开展热设计的较为常规的方法。重点要关注以下几点。一是要最大限度的利用导热、自然对流和辐射等简单、可靠的冷却技术,通过缩短传热路径、增大换热或导热面积实现散热。二是元器件的排列要有利于对流换热,采用热阻小的边缘导轨。三是同一机箱内电路模块之间的间距要控制在19~21 mm,增大机箱表面黑度以增加换热能力。四是对于非密封式机箱的通风孔设计,既要满足散热要求,又要满足电磁兼容性和安装要求。

以下按照设计流程,对自然冷却方法的不同方法进行举例说明。主要包括电子元器件安装、电子元器件热屏蔽与热隔离、电路板组件自然冷却、边缘导轨热设计和电子机箱壳体自然冷却设计等方面。

1.3.1 电子元器件安装

电子元器件安装要考虑几个方面。首先,对温度敏感的热敏元器件应放在设备的冷区,比如冷却空气的入口处附近。其次,元器件布置可根据其允许温度分类,允许温度较高的元器件可放在允许温度较低的元器件之上,也可根据耐热程度按递增的规律布置,耐热性好的元器件放在冷却气流的下游出口处,耐热性差的元器件放在冷却气流的上游进口处。第三,带引线的电子元器件应尽量利用引线导热,安装时要防止产生热应力,要有消除热应力的结构措施。最后,电子元器件安装方位要符合气流的流动特性,同时要尽可能地减小安装界面接触热阻及传热路径上的热阻,在考虑散热同时,也要考虑良好的维修性。

对于电阻类器件,尤其是大功率电阻器应安装在金属底座上,并尽可能安装在水平位置。如果其它器件与功率电阻器之间的距离小于50 mm时,则需要在大功率电阻器与热敏元件之间加热屏蔽板。不能在设有散热器的情况下,将功率型电阻器直接装在接线端或电路板上。电阻引线长度要尽可能短且有些弯曲,考虑热胀冷缩,并和电路板的接点能起到散热作用。当电阻器成行或成排安装时,要考虑通风限制和相互散热的影响。

对于半导体类器件,多采用传导方式散热。大功率半导体器件如采用散热器辅助散热时,应尽量使器件与散热器紧密接触,同时要加装导热性能良好的绝缘衬垫和导热绝缘胶等以减小接触热阻。小功率集成电路的安装位置要尽量减少从大热源及金属导热通路的发热部分吸收热量,可采用隔热屏蔽板。

对于变压器和电感器类的器件,其安装位置应最大限度的减小与其他元器件间的相互热作用,最好安装在外壳的单独角或安装在一个单独的外壳中。

对于无源类器件,尽量安装于温度较低区域,如安装在有源区,需采取热屏蔽和热隔离措施。

例如:依据上述要求,印制板模块上的各类元器件布局示意图如图1所示。成排安装的电阻器要有间隙,考虑散热,如图2所示。

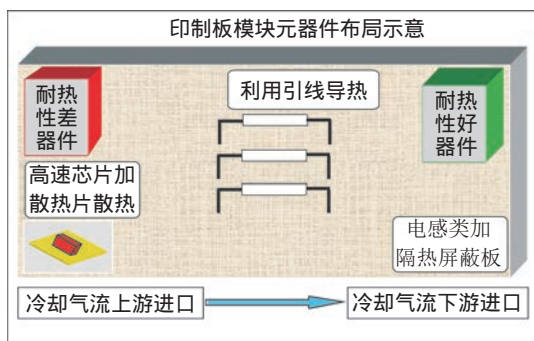


图1 元器件布局示意图

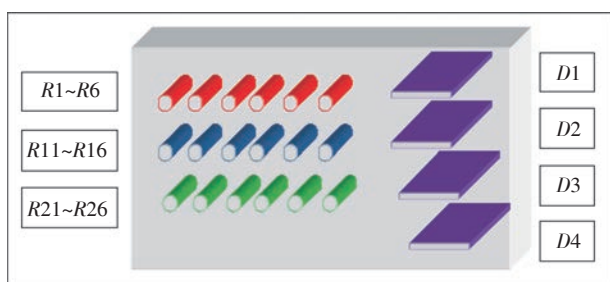


图2 成排电阻器及芯片排列要考虑间隙

1.3.2 电子元器件热屏蔽与热隔离

在有热源区域,采取热屏蔽和热隔离设计时,要尽可能将导热通路直接连接到热沉,减小高温与低温元器件之间的辐射耦合,加装热屏蔽板形成热区和冷区;同时要尽量降低空气或其他冷却剂的温度梯度;将高温元器件装在内表面具有高黑度、外表面低黑度的外壳中,保证外壳与散热器有良好的导热连接;适当增粗元器件引线,建立良好的导热通路。

例如:采用热屏蔽板加装于散热量高的区域和低的区域,进行隔离。如图3所示。

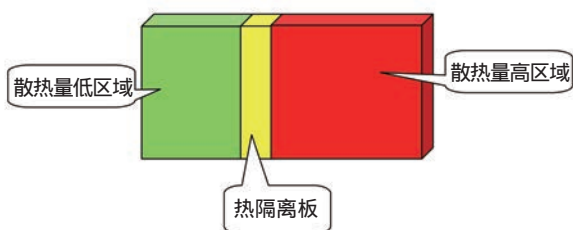


图3 散热量差异较大区域采用热隔离方式

1.3.3 电路板模块自然冷却

电路板一般采用环氧树脂玻璃板,其导热系数较低,导热性能差,为提高电路板的导热能力,要在结构上采取一些散热措施,通常采用在电路板上敷设金属条、金属板或在中间安装导热金属芯等。

电路板上的电子元器件安装和布局要根据发热量等因素综合考虑。要按照发热量大小及耐热程度分区排列。当有大、小规模集成电路混合安装时,应尽量将大规模集成电路放在冷却气流的上游,小规模集成电路放在下游,从而保证电路板元器件的温升趋于均匀。由于元器件与电路板的热膨胀系数不一致,在温度循环及高温条件下,要采取一些结构措施消除热应力。例如,电阻、二极管一类的轴向引线器件,在搭焊和插焊时,要保证留有最小2.6 mm的应变量;在安装密度较高的模块时,可以考虑采用环形结构,尤其是引线较粗的器件,要留有一定的应变量。

对于大功率元器件的安装,要采用具有足够抗压能力和高绝缘强度及导热性能的绝缘片或导热硅橡胶片,同时在界面涂一层薄的导热膏,以减小界面热阻。为更好降低热阻,可用导热绝缘胶直接将元器件粘到电路板或导热条上,或者通过减小元器件与电路板间的间隙实现。

印制板上排布器件后,采用异形散热冷板形式,将器件热量通过冷板或导热条导出到散热面积较大的机壳外面,实现快速散热。如图4所示。

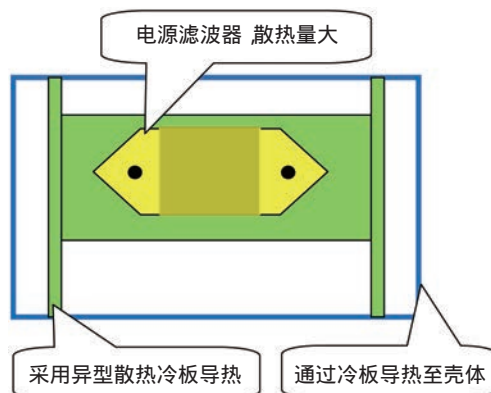


图4 采用异形散热冷板实现散热

1.3.4 边缘导轨热设计

电路模块两侧采用导轨模式,安装在机箱内。

可通过提高导轨与机箱接触面表面粗糙度和平面度的精度,减小导轨热阻。一般表面粗糙度达到 $3.2\ \mu\text{m}$ 就可以满足要求,如精度越高,其加工成本也会增加。导轨的材料可选用质地软且导热系数高的磷青铜、紫铜或铝合金等金属,通过一定压力能与配合材料紧密贴在一起,从而获得较小热阻。一般常用导轨的结构形式有G型、B型、U型和楔形。其中,G型、B型和U型导轨的热阻值较大,且热阻值随着海拔高度的变化而变化较大;而楔形导轨热阻值较小,且热阻值几乎不受海拔高度的变化影响,还具有很好的抗振动和冲击能力,比较适合用于恶劣的环境使用。各导轨的热阻值如表1所示。

表1 各种导轨的热阻值数据/($^{\circ}\text{C}\cdot\text{mm}/\text{W}$)

条件	G型	U型	U型	楔形
0~15.2 km	305	203	153	46
30.5 km	394	267	203	48

从表中可以看出,楔形导轨更适用于散热。楔形导轨的设计样图如图5所示。

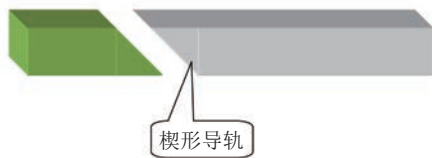


图5 楔形导轨设计样图

1.3.5 电子机箱壳体自然冷却设计

由于机箱大部分热阻存在于结合面处,因此,机箱壳体与底座和支架要有良好的导热连接。所有金属间的接触面必须清洁、光滑,而且接触面积应尽可能地大,并且有高的接触压力。通过机箱壳体内外表面涂漆,或在靠近发热元器件的机壳顶部、底部或两侧开通风孔等措施,实施良好散热。也可在机箱外壳适当应用一些散热性能好的肋片,也可降低内部电子元器件的温度。机箱开孔的大小应与冷却空气进、出流速相适应,并且压降应小于热空气的浮升压力。通风孔的位置考虑要进风孔尽量远离出风孔,如进风孔开在机箱侧面下端或接近底板处,则出风孔应开在机箱侧面上端接近顶板处。通风孔的形状、大小可根据应用场合、电磁兼容性 & 可靠性要求来确定,一般与进出风孔的中心距、孔面积、机箱内外温度差等因素相关。

相同面积的散热壁,采用有肋散热比无肋散热,散热量要变大;但是,当尺寸一定时,肋片数量增加,肋间距变小,由于流体粘滞使用,换热效果会降低,而且,当肋间距减小,肋片之间相互吸收了一部分辐射能力,也会降低换热效果。因此,在选择肋片高度和肋片间距上,要综合考虑,达到最佳效果。在工程实践中,多采用有肋壁方式,设计的图样如图6所示。

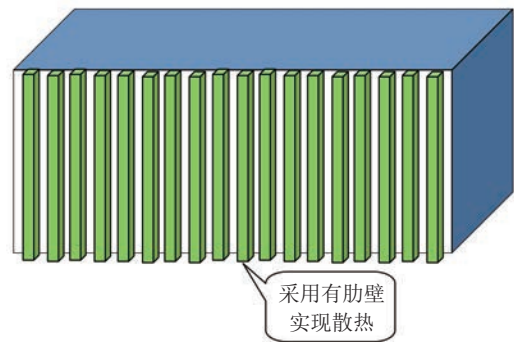


图6 通过肋壁方式实现散热面积

1.4 热分析方法

电子设备热分析通常采用专用的热分析软件完成。通用热分析软件包括:Flotrn、ANSYS等;专用的电子设备热分析软件包括:BetaSoft、Coolit、Flothern等。热分析包括:建模、确定参数、划分网格、迭代分析、给出结论和改进建议。其中,在建模、确定输入参数及网络划分环节要特别注意。基本步骤包括以下五步,如图7所示。

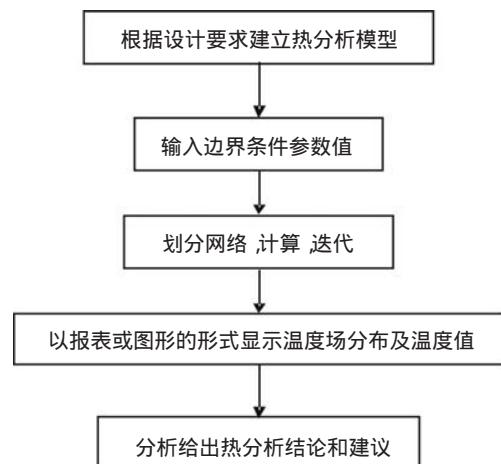


图7 热分析步骤

在进行建模时,采用的策略要由重要到次要,

由简单到复杂。从最重要入手,确定整体布局,对箱体外壳、开孔、功耗、电路板等进行建模;然后在此基础上,考虑增加较重要的影响因素,例如,元器件布局、外壳与外界热交换等模型。对重点分析部位进行详细建模,对次要因素可进行粗略建模。

对于输入边界条件参数时,要包括材料的热传导率、元器件的热功耗和初始条件等。

划分网格时,对于温度梯度较高的重要部位,要进行局部密度优化,在不规则形状处可采用非结构化网络。

1.5 热试验方法

通过开展热试验,可对热控制冷却方案及热分析方法进行验证、评价和提出改进建议。热试验工作主要包括:验证冷却系统是否已经达到预定的技术指标;分析采取的冷却方案是否为较佳方案,对质量、尺寸、成本、可靠性方面做出评价;同时对电子设备和采取的冷却系统进行热测量,包括关键元器件、散热器及其他冷却装置的表面温度,机箱的温度分布以及流经壳体管路的流量或压力损失情况;最后根据试验测试结果,对电子产品的热性能进行评价。进行温度测量时,可采用直接接触式和非接触式。非接触测量可采用红外、激光等手段。

以自然冷却电子设备为例,开展热试验时,监测的主要项目包括:设备所处环境温度、压力等;关键元器件最高温度和最高温度值。在测试时,要保证在温度稳定后开始试验。

热试验贯穿电子设备研制、生产全过程,要采用检验合格的设备进行试验。在进行热试验前,要确保设备主要性能指标要满足要求;试验时,设备要处于额定状态下工作;对试验箱等模拟环境的技术参数要进行监控,确保与设备实际工作环境一致。

2 需注意的问题

设计一个性能良好的热控制系统,应综合考虑各方面的因素,使其既能满足热控制的要求,又能达到电气性能指标,所用的代价最小、结构紧凑且工作可靠。因此在开展热控制设计的同时,也要关注以下几个方面。首先是保证热控制系统具有良好的冷却功能,要保证设备内的电子元器件均能在

规定的热环境中正常工作,每个元器件必须符合安装要求。其次,是要保证热控制系统的可靠性。在规定的使用期限内,冷却系统的故障率一定要比元器件的故障率低。尤其是强迫冷却系统,要保证设备正常可靠工作,可考虑采用冗余方案。第三,热控制系统要具有良好扩展性,当存在热损耗或流体流动阻力增加时,系统无需太多变更就能增加散热能力。最后,要综合考虑,系统要具有良好的维修性和经济性。

3 结论

电子设备热设计是一个较为复杂的工程应用,涉及学科较多,热控制技术直接影响电子元器件和设备的热可靠性。因此,要统筹考虑,从系统观点开展热设计、热分析和热验证,在规定的寿命周期内,完成所规定的功能,以最少的维护投入保证其正常工作功能,实行规范化管理,从而提高设备热可靠性设计水平。

参考文献

- [1] 邱成梯,赵婷,蒋全兴.电子设备结构设计原理[M].南京:东南大学出版社,2001.
- [2] 余建祖,谢永奇.电子设备热设计及分析技术[M].北京:高等教育出版社,2002.
- [3] 俞昌铭.热传导及其数值分析[M].北京:清华大学出版社,1982.
- [4] 杜秀云,唐祯安.热传导温度场不确定性数值分析[J].科学技术与工程,2013,13(6):1606-1608.
- [5] 沈煜欣,刘建军.考虑热传导的微型离心压气机设计与数值分析[J].航空动力学报,2010,25(4):897-901.
- [6] 刘亚,侯小刚,张敏.含内热源多维稳态热传导问题的数值分析[J].南京师范大学学报(工程技术版),2010,10(2):45-47.
- [7] 杨荣,王强.高超声速旋转体气动加热、辐射换热与结构热传导的耦合数值分析[J].上海航天,2009(4):25-29.
- [8] 黄庆宏,王柯,张敏.热传导方程伽略金近似解与数值解的比较分析[J].上海航天,2012,12(1):25-28.
- [9] 谢明君,李姣姣.临近空间电子设备热设计[J].机电信息,2014,12:142-143.
- [10] 胡丽华,钟志珊,赵杰.热管散热模组在机载电子设备热设计中的应用[J].航空电子技术,2014,45(2):35-42.