

军用电子设备环境适应性设计有关问题探讨

生建友¹, 关志强²

(1. 总参第六十三研究所, 南京 210007; 2. 沈阳军区军训器材研究所, 沈阳 225400)

摘要: 军用电子设备的使用范围非常广, 工作场所多种多样, 设备的环境适应性问题比较突出。介绍了军用电子设备所面临的环境条件, 分析了环境适应性设计步骤, 结合设计经验, 讨论了具体的环境适应性设计措施, 包括温度控制措施; 防振动抗冲击措施; 电磁防护措施以及三防措施等。

关键词: 军用电子设备; 环境; 环境适应性设计

中图分类号: TJ01; TB21 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2009)03-0080-04

Discussion on Environmental Worthiness Design of Military Electronic Equipment

SHENG Jian-you, GUANG Zhi-qiang

(1. The 63rd Research Institute of the General Staff Headquarters, Nanjing 210007, China;

2. The Military Training Equipment Institute of Shenyang Military Area, Shenyang 225400, China)

Abstract: As the use area of military electronic equipment is far-flung and the working regions are various, the environmental worthiness problems are more serious. Designers should actively track and apply new design techniques to meet the application requirement of modern military electronic equipment. The environmental condition that military electronic equipments face was introduced; the steps of environmental worthiness design were analyzed. The concrete design measures were discussed with design experiences, which included temperature control measures, vibration and impact prevention measures, electromagnetic protection measures and three-protection measures.

Key words: military electronic equipment; environment; environmental worthiness design

环境对产品的使用寿命和性能稳定性影响极大, 世界各国都投入了大量人力、物力对产品环境适应性进行研究, 制定了系列标准、规范, 以改善和提高产品的环境适应性能力, 进一步提高产品的可靠性和寿命。现代复杂多变的战场环境, 对军用电子设备的环境适应性提出了更高要求, 环境适应性要求已成为设备重要的性能指标之一, 不断提高其环境适应性是相关行业、厂家、科研院所亟待解决的技术难题, 也是结构、工艺设计人员始终需要关注并加

强研究的课题。

1 设备面临的环境条件

环境因素是设备在贮存、运输和使用中无法回避且时刻受其影响的重要因素。设备的性能稳定性、可靠性与环境条件密切相关, 资料表明^[1]: 同一设备, 在实验室条件下使用, 若单位时间内出现的故障数为 1 次, 在野外地面上使用则为 2 次, 舰载使用

为10次,机载为20次,这足以说明环境条件对设备的影响非常大,可能会导致设备出现故障甚至永久性损坏。军用电子设备的使用范围广,可在车载、舰载、机载、星载、室内、野外、边海防、背负等方式下使用。其面临的主要环境可分为气候环境、机械环境、电磁环境、生物、化学环境等。单一环境条件对设备性能、可靠性的具体影响在有关文献[1—2]等中有详细介绍,然而各种环境因素不是单一的,往往成对甚至多个同时出现,它们相互影响,综合作用于设备,因而应根据设备的实际情况具体分析。

2 环境适应性设计步骤^[3-4]

设备的环境适应性设计贯穿于项目研制全过程,主要有以下4个阶段。

1) 确定设备的环境平台。在设备的研制之初,首先要对设备可能承受的环境条件进行科学、合理的分析,了解环境对设备影响的程度,确定对产品效能正常发挥影响最大的因素,根据项目研制合同中规定的检验标准,建立相应的环境平台,为拟制结构设计提供正确的依据。由于军用装备可能用于不同的工作环境,应按综合使用条件建立环境平台,确保设备具有通用性,如机械振动、冲击应按严酷度等级较高的车载条件确定环境平台,腐蚀、湿热等应按比较恶劣的海洋条件确定环境平台等。确定合理、准确的环境平台是做好设备环境适应性设计的前提条件,环境平台的严酷度等级过低则不实用、不通用,严酷度等级过高又会增加研制成本,对拟制技术方案和技术实现带来较大困难。

2) 拟制环境适应性设计方案。环境适应性设计方案是总体设计方案的重要内容之一。根据确定的环境平台和项目研制合同,通过调研、分析、消化、比较,从电路、结构设计的角度,定量或定性地阐述如何适应设备的环境平台,从顶层提出所要采用的设计方案、材料、工艺以及元器件,或者提出一些能够改变环境,把环境控制在允许范围内的技术方法。方案报告首先要组织专家进行评审,这是后续研制工作的主要依据,能有效避免工程设计凭经验、凭感觉而走弯路,确保工程设计顺利开展。设计方案的好坏决定了设备的质量水平和档次。

3) 环境适应性工程设计。工程设计阶段是整个研制过程中的关键环节,应充分利用各种先进的

设计理念、设计方法、设计手段进行分析、计算、仿真和工程图样设计,凡是方案中涉及的问题,都必须在这一阶段逐条解决,保证设计方案得到全面实施,以满足合同要求。随着设计工作的不断深入,应根据所用技术的先进性、实用性、工艺性以及方案的可行性,实时地对设计方案进行检验、修改、补充,以使方案更加完善、合理、可行。

4) 环境试验。根据研制合同规定的项目要求进行相关环境模拟试验,验证环境适应性设计方案和工程设计的合理性、正确性,暴露和发现产品在设计、材料和器件的选用以及工艺等方面的缺陷和隐患,并通过改进设计,进一步提高产品的环境适应性能力。

3 环境适应性设计措施

环境适应性设计会涉及到多方面的专业知识、技术。不同的环境因素需采取不同的防护措施,具体地讲主要是温度控制,防振动抗冲击,电磁防护,三防4个方面,解决好这4个问题能大大提高设备的耐气候、机械、电磁以及生物、化学环境能力。下面结合科研实际工作具体讨论这4种措施。

3.1 温度控制措施^[2,5]

温度控制设计是军用电子设备环境适应性设计的重要内容,温度试验也是设备环境试验和可靠性试验的重要项目。采取具体设计措施时,应根据热设计方案,分析设备的组装结构、布局,了解中、大功率器件以及设备各组成单元的允许温升,设备内部的热流密度以及温度场的分布情况,确定所需采用的温度控制措施,这个过程可以运用计算机仿真技术来完成。

对于中小功率设备,主要采用传导、自然对流和辐射换热等自然冷却措施,结合使用强迫风冷、机箱上开孔等温度控制措施,这些措施基本能满足设备的散热要求。但是,军用电子设备的功耗越来越大,体积越来越小,芯片的运行速度也越来越快,设备内部聚集的热量越来越多,热流密度越来越大,使得设备内部及芯片表面温度很高,甚至超过芯片允许的结温,造成芯片停止工作,设备发生故障。此时,依靠传统的温度控制措施很难保证芯片的表面温度不超过其允许的结温,尤其是密封型设备,应积极吸收

或采用新的温度控制技术和措施(液体冷却技术,相变冷却技术,无机传热元件和热电制冷、新型冷却模块等)来寻求新的解决途径。如研制某型通信设备时,采用常规热设计与新型无机传热元件(如图1所

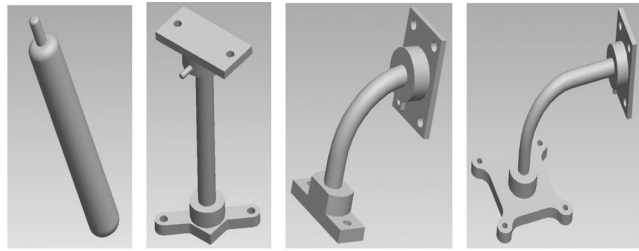


图1 几种无机传热元件的结构外形示意

Fig. 1 Structural view of inorganic heat transmitting elements

示)相结合的温度控制措施,成功解决了设备的散热问题,确保了设备的成功研制。

3.2 防振动抗冲击措施^[2,9]

面对复杂多变的战场环境,移动或车载电子设备越来越多,设备频繁地受到振动、冲击等机械环境的影响,造成设备在某一激振频率作用下发生共振而损坏,或是疲劳破坏,以及防潮和密封失效等。因此,必须要采取可靠的、有效的防振动抗冲击措施,以提高设备的耐振冲能力。设计时,应根据设备的环境平台和设计方案,确定所要采取的防振动抗冲击技术措施,正确设计隔振缓冲系统,并借助于计算机仿真技术进行振动、冲击模态分析,以指导、验证隔振缓冲系统的设计,确保设备具有防振动抗冲击能力。主要采取以下措施^[9]。

1) 加固设计。增加设备和元器件的耐振冲能力。如在总体布局和结构设计上采取相应措施,使设备重心下移;增强结构的强度、刚度,提高元器件承受振动、冲击的能力;强化小型化设计,选用小型化元器件和标准电子模块,采用表面贴装技术和高密度组装技术;选用导热条(板)式印制板,电路固定采用楔形锁紧装置,其锁紧力大,维修性好,接触热阻也小。

2) 设计振动、冲击防护系统。根据确定的环境平台和减振缓冲原理,设计具体的隔振缓冲防护系统,以抵消外部激励对设备的影响。为了实现设备的快速维修,最好设计成模块结构。如在研制某机载设备时,就单独设计了减振模块,通过模块上结构

简单的前、后锁紧装置实现了与设备和机架之间的快速安装和紧固,使用证明其隔振缓冲效果非常好。

3.3 电磁防护措施^[3,7]

电子设备的快速发展和广泛应用,形成了复杂的电磁环境。由于频谱资源有限,频道拥挤,干扰变得日益严重。随着电子设备的性能和精度越来越高,设备对电磁干扰的灵敏度增加,加上敌意干扰以及电磁脉冲武器和高功率微波武器的使用,使得现有电子设备显得相对脆弱,通常采取以下几方面防护措施。

1) 尽量减少暴露部分,如天线、电缆等,以减少接收电磁波的能量。

2) 良好的屏蔽。电磁屏蔽就是用导电率和导磁率比较好的金属材料把电子单元和设备包裹起来,并设有良好的接地线,防电磁脉冲的屏蔽材料要求有更高的导电率和导磁率。这样,电磁波和电磁脉冲就很难到达设备内部的敏感元件和电路处。

3) 滤波与吸收。滤波是抑制电磁波传导干扰和电磁脉冲“前门”耦合的重要措施,对设备内部的电源线、信号线、控制线及印制板分别采取滤波措施,来抑制它们运行时产生的电磁能量。对进出设备的所有电缆和导线采用旁路电容、滤波等措施,吸收线缆上的电磁能量并消除有害的电磁波。

4) 良好的接地。它既可以解决传导干扰,又可以解决辐射干扰,良好的接地能使屏蔽、滤波措施更好地发挥作用。地线设计时,应综合考虑信号地、噪声地、电源地、屏蔽地,并分开敷设。

5) 选用多层印制电路板。大量资料和实践表明,印制板从双面板改为四层板,其电磁辐射能量显著降低。

6) 电涌防护法。对于防电磁脉冲设备来说,在设备线缆的出入口处安装电涌保护器件,以防止电涌大电流的进入。

7) 光纤应用。光纤传输有一系列优点,最重要的是不会产生电磁辐射,也不会产生线间干扰。但是,在强电磁脉冲作用下,光纤会发热,引起机械变形,直接影响到光纤的传输性能,应注意加强光纤这方面的防护措施。

8) 采用更耐用的电子元器件,同时采用“冗余设计”,在设备中备份单元模块,在系统中备份分设备。

3.4 三防措施

三防(防潮湿、防盐雾、防霉菌)技术涉及到材料、元器件、电路、结构、工艺和技术管理等方面的工作,三防措施包括以下几个方面^[1-2]: 1) 三防结构防护设计; 2) 采用不受潮湿、盐雾、霉菌等侵蚀的材料和保护层; 3) 通过组件密封、元件包封、零件涂覆等方法,防止腐蚀介质接触到零件; 4) 利用定期检查和维修及时将问题排除。

3.4.1 材料防护

根据确定的环境平台和设计方案,选择适合的材料作为设备结构件的材料。对于那些可靠性要求很高、一旦发生腐蚀就会带来严重故障的重要件,在不采取其他防护措施的前提下,应选用高耐蚀性金属材料和不长霉菌、耐老化的非金属材料。对于非关键件可采用耐蚀性较低的材料,再结合镀涂金属层或非金属层的工艺防护措施,提高经济性,当然还应兼顾设备的体积、质量等要求。选用材料时,应掌握材料的腐蚀机理、破坏形式以及材料的相容性问题,防止不同材料彼此相互作用、相互影响而引起腐蚀问题。随着工程塑料、橡胶和有机玻璃等非金属材料在军用电子设备中广泛应用,应注意这些有机材料的耐老化和防霉菌问题,为了改善塑料的老化性能,在制造塑料过程中要加入防老化剂和稳定剂,在橡胶零件的制造过程中加入防老化剂和防霉剂。

3.4.2 结构防护

大多数的腐蚀问题都能通过适当的结构设计(结构防护)来避免。设计中,对部件或整机采取全密封或半密封措施,将设备(或部件)与外界环境相隔离,并采取以下措施。

- 1) 在湿度较大的气候环境下,尽量避免采用点焊、铆接、螺纹紧固等结构形式,优先选用钣金结构或整体压铸机箱的结构形式,以避免形成缝隙腐蚀。
- 2) 不同金属和合金应尽量避免直接接触,在2种不同金属材料之间加入第3种金属,以降低2种金属间的电位差。
- 3) 在有可能产生应力腐蚀裂开的情况下,应注意避免引起应力集中的结构形式,如各种切口、锐角和焊接缺陷等,并采取适当的工艺措施消除内应力。
- 4) 在最容易发生腐蚀和最大腐蚀部位加厚构件尺寸,通常称为“腐蚀裕度”,一般取预期寿命所需

量的2倍。

3.4.3 工艺防护

对整机设备来说,工艺防护措施主要是表面涂覆。表面涂覆就是在设备及其零部件表面覆盖一层金属或非金属保护膜,使之与周围介质隔离开来,从而达到防护的目的。表面涂覆是最常用的防腐蚀措施,表面覆盖层分为金属覆盖层、非金属覆盖层和化学覆盖层。

金属覆盖层主要通过电镀、化学镀、热喷镀、热浸镀等方法获得,常用的金属镀层有: 锌、镍、铜、铬、银、金等镀层。选择镀层时,应根据确定的环境平台,兼顾基体材料的特性和功能要求以及材料的相容性要求。近年来,合金电镀工艺和达克罗涂覆工艺得到了推广和应用,有关厂家的大量试验表明合金镀层和达克罗涂层的防腐性能很好^[8],尤其是耐盐雾性能好,另外,通过试用和试验,还发现达克罗涂层的附着力很好,与金属、油漆涂层均有很好的结合力。

非金属覆盖层包括油漆涂覆层和塑料涂覆层。油漆涂覆层在非金属覆盖层中用得最普遍,它具有一定的流动性,能够在物体表面形成一层连续薄膜,因而具有较好的防护作用。三防用漆的种类很多,性能各异,漆种的选用应根据油漆的性能、适用范围以及产品的使用环境而定。对于设备外表面通常采用丙烯酸漆和聚氨脂漆,这2种漆具有突出的抗大气腐蚀性和三防性能,对于印制电路板及其组件表面通常喷涂三防清漆。由于塑料覆盖层的耐盐雾性和耐老化性不理想,原则上野外使用的设备不准使用塑料涂覆层。

化学覆盖层就是用化学或电化学方法使金属表面生成某种化合物而形成覆盖层(绝大部分是金属氧化膜),以达到防腐蚀的目的。化学覆盖层既是防止自身腐蚀的措施也是油漆涂层的良好底漆,常用的有钢铁材料的磷化和氧化,铝及铝合金的阳极氧化、化学氧化,铜及铜合金钝化、氧化,镁合金的氧化等。

4 结语

军用电子设备的环境适应性设计涉及面很广,需要解决的问题比较多,设计难度也比较大,但其作为军用电子设备主要的性能指标,以及提高设备可

(下转第91页)

终解决了迫击炮弹烧毁过程中的环境污染问题。

参考文献:

- [1] 麻全士, 巩永孝, 丁玉奎. 报废通用弹药处理技术[M]. 石家庄: 军械工程学院出版社, 2004.

- [2] 总装备部通用装备保障部. 报废通用弹药处理技术[M]. 北京: 解放军出版社, 2004: 68—79.
- [3] 贾晓东. 带壳装药有控烧毁技术及爆炸防护研究[D]. 石家庄: 军械工程学院, 2005.

(上接第59页)

程标准化在标准体系、标准制定和修订、新技术新方法标准化等方面都存在着一定的差距。针对这些问题, 建议加强开展以下工作:

1) 加快国外先进装备环境工程标准的消化吸收, 尽快完成装备环境工程标准体系中相关标准的制定;

2) 注重标准的修订, 定期对已有装备环境工程标准进行修订;

3) 加快把现有新技术新方法转化为标准, 在完善标准体系的同时促进新技术新方法的应用。

参考文献:

- [1] GJB 4239-2001, 装备环境工程通用要求[S].
- [2] MIL-STD-210, 军用设备气候极值[S].
- [3] MIL-STD-785B, 系统和设备研制和生产阶段的可靠性大纲[S].

- [4] DEF STAN 00-35, 国防装备环境手册[S].
- [5] NATO STANAG 4370, 环境试验标准[S].
- [6] MIL-STD-810G, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [7] 丁其伯. 剪裁在环境工程中的作用和地位[J]. 航空精密制造技术, 1995, 31(4): 35—38.
- [8] 祝耀昌. 国外环境工程发展综述[J]. 航空标准与质量, 1998, (2):
- [9] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [10] 张伦武, 何新洲, 杨万均. 环境对装备的影响及装备环境工程标准分析[J]. 装备环境工程, 2005, 2(6): 28—33.
- [11] 杨晓然, 张伦武, 秦晓洲, 等. 自然环境试验及评价技术的进展[J]. 装备环境工程, 2005, 2(2): 6—16.
- [12] 杨晓然, 张伦武, 张勇智. 自然环境加速试验技术[J]. 装备环境工程, 2004, 1(1): 7—11.

(上接第83页)

靠性、延长使用寿命的重要手段, 必须加以重视。应采用并行设计方法, 将环境适应性设计纳入到总体设计当中, 在设备的研制之初, 就和电路、结构设计同步进行, 根据项目研制合同及设计方案, 积极吸收、采用新的设计思想和材料、先进技术和成熟的工艺对设备进行环境适应性设计。此外, 实行定期检查和维修, 进一步提高军用电子设备的环境适应能力。

参考文献:

- [1] 电子科学研究院. 电子设备三防技术手册[K]. 北京: 兵器工业出版社, 2000.
- [2] 邱成梯, 赵懋受, 蒋全兴. 电子设备结构设计原理[M].

南京: 东南大学出版社, 2001.

- [3] GJB 367A-2001, 军用通信设备通用规范[S].
- [4] 生建友. 军用电子设备结构设计方案有关问题探讨[J]. 电讯技术, 2007, 47(5): 169—173.
- [5] 王从思, 段宝岩, 仇原鹰. 电子设备的现代防护技术[J]. 电子机械工程, 2005, 21(3): 1—4.
- [6] 生建友. 机载电子设备的防振动抗冲击设计[J]. 电子机械工程, 1999, 15(2): 44—47.
- [7] 赖传武. 强电磁脉冲的破坏效应及防护[J]. 电子科技导报, 1997, (11): 32—34.
- [8] 吴勇. 达克罗涂覆工艺应用探讨[C] // 军事电子装备“防护”技术交流会议论文集. 北京: 中国机械制造工艺协会电子分会, 2006: 116—123.