

“十二五”国家重点出版规划精品项目



现代电子机械工程丛书

电子设备

季馨 王树荣 著

振动环境适应性设计



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

现代电子机械工程丛书

“十二五”国家重点出版规划精品项目

电子设备振动环境 适应性设计

季 馨 王树荣 著

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 · BEIJING

现代电子机械工程丛书编委会

主 任 王小谟

副主任 段宝岩

委 员 罗 群 龚振邦 施浒立 季 馨

周德俭 俞惟铨 黄大贵 程辉明

叶渭川 陈慧宝 李文海 史金飞

赵惇爻 蒋全兴 童时中 卢世济

主 编 段宝岩

副主编 龚振邦 施浒立 季 馨 周德俭

编辑部主任 叶渭川 高 平

编辑部副主任 黄 进 李 洁



出版说明

《现代电子机械工程》丛书（以下简称“丛书”）是由中国电子学会电子机械工程分会与电子工业出版社共同策划、组织编写的一套系列技术丛书。由于电子机械工程是电子和机械为主的多学科交融的学科，涉及专业面极广，因此，这套“丛书”将是一套开放性“丛书”，为今后拓展留下空间。

参加“丛书”编写的作者均为高等院校、科研院所的知名专家与学者，“丛书”是专家们集体智慧的结晶，是他们长期实践经验的总结，是一套集理论与实践相结合的上乘之作。

本套“丛书”内容丰富，涵概了电子机械工程涉及的主要方面。第一批先出版的分册主要体现了以下四个方面的内容：

- 介绍了电子设备环境适应性设计，如电磁兼容性设计、电子设备热设计、抗振动冲击设计、防腐蚀设计等；
- 介绍了电子设备各种类型的天线系统和结构及机电系统的伺服控制；
- 介绍了电子产品的电气互联技术；
- 介绍了电子产品人机工程和色彩设计。

本套“丛书”写作严谨，定义准确，语言简练，图文并茂，公式齐全，案例丰富，集设计性、实用性、新颖性于一体，既是电子机械工程科技工作者的设计指南，也是高校电子机械工程专业及相关专业师生极好的教材和参考书。

中国电子学会电子机械工程分会
电子工业出版社

电子机械工程主要研究电子装备机械结构设计与制造等,其特点在于如何使系统或装备在复杂的机械环境、电磁环境以及热环境中满足对其电性能的要求,并具有高的可靠性。飞速发展的电子信息技术已成为我国现代化建设的一个关键技术。电子信息技术的实现依赖于电子装备的性能,包括电磁性能和机械结构性能。机械结构不仅是电性能实现的载体和保障,而且往往制约着电性能的实现。随着电子装备向高频段、高增益;高密度、小型化;快响应、高指向精度方向的发展,这种制约作用愈加凸显。电子机械工程即专门研究为实现电子装备性能,进行机械结构设计与制造的学科,是一门多学科相交融的学科。具体可分为如下四个方面:

一 机械结构因素对电性能的影响:如天线伺服驱动系统的结构谐振频率限制了控制系统的带宽;摩擦、间隙、弹性变形等对控制系统性能的影响;天线结构变形和反射面误差影响天线的效率;微波器件的加工精度与表面粗糙度对微波器件的影响等;实际上微波器件的结构设计与电气设计已经密不可分。因此必须清楚透析这些影响的机理与规律,才能正确设计结构,确保电子装备的性能优良。这是一个多种物理场的耦合问题,可归结为机械、电子、控制的耦合理论以及耦合问题的建模和求解。

二 电子设备对各种恶劣环境的防护:包括电子设备在强烈的振动与冲击下可靠工作,防止失效;在严酷环境下电子设备的温度控制,使电子元、器件温度不超过允许值;电子设备抵御外界电磁干扰的能力和避免自身对环境的电磁污染等。其特点在于使系统或装备在复杂的机械环境、电磁环境以及热环境中满足对其电性能的要求,并具有高的可靠性。此外,还有防潮、防霉、防盐雾腐蚀以及防原子、防生物化学武器等。涉及机械学、传热学、电磁场理论、环境科学、化学、材料学等多门学科。因此在电子设备的设计中必须将各种防护措施综合、统一来考虑。

三 电子组装技术:即如何将成千上万的电子元器件正确而有效地连接、组装及布局,组成一个性能满足要求的整机或系统。在组装过程中,内部要考虑各电子元器件间的互相影响;外部要考虑各种环境因素的影响,最终确保其高可靠性、易维修性及易操作性。目前电子组装技术已发展到表面安装、三维组装及微组装。其中,电路、结构、工艺密不可分。此外为了使操作人员能高效地工作,人机工程学也不容忽视。

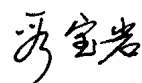
四 电子精密机械设计:为实现电子设备的功能,往往需要精密机械,甚至大型机械与结构。典型的如雷达天线、射电望远镜天线、计算机外部设备、机器人等。雷达天线是一种典型的精密机械,其精度与精密机床相比毫不逊色;直径几十米、上百米的全可动抛物面反射器结构高精度的要求,工程上很难实现;计算机外部设备如绘图机、扫描仪、打印机等,其设计是典型的机、光、电一体化设计。这里的电子精密机械设计不同于一般概念上的精密机械设计,是为了满足电子设备性能要求的机电综合性设计。

特别需要指出的是军用电子设备与系统,由于要适应条件苛刻、问题突出、要求严格、更新快的战争环境,在民用产品中罕见应用的代价高昂的许多尖端新技术,率先在军事装备中获得广泛应用。在未来战争中电子战与信息战将起着至关重要的作用,这将赋予电子机械 engineering 在加强现代化国防建设中更重大的责任,也将使电子机械工程面临新的挑战。

为系统总结我国在电子机械工程领域的研究工作，中国电子学会电子机械工程分会特组织编写了《现代电子机械工程》丛书，旨在服务于我国电子机械领域的科学研究和装备研制工作。

希望该丛书的出版将对我国电子机械工程技术的发展起到积极的促进作用。

中国工程院院士
西安电子科技大学校长
中国电子学会电子机械工程分会主任委员

Handwritten signature in black ink, reading '王宝俊' (Wang Baojun).

前 言

强烈的振动、冲击和自然力学环境（如暴风、巨浪、沙尘暴等）已成为影响电子设备电性能高可靠和稳定长期工作的主要因素。对于从来没有系统学习过振动理论和拥有该领域工程实践经验的年轻结构工作者而言，要认识机械振动对电子设备电信功能的影响机理并采取相应的工程应对措施是非常困难的。

本书试图从最基本的振动理论出发，让读者逐步认识电子设备振动环境适应性的内涵，即环境平台（设计输入）、环境适应性平台和振动工程控制等的研究内容、设计方法和设计思路。

振动理论中的很多基本概念，特别是振动试验分析中的很多概念、定义和数据分析统计、故障诊断分析，与数学计算是分不开的。尽管我们努力使之更简单，但数学推演还是占了一定篇幅，还望读者耐心看一看。

我们期望通过本书，把几十年来我们自己和别人的成功应用实例和失败的教训告诉年轻的朋友们，希望你们少走或不走弯路。

为了方便从未系统学习过振动理论的读者阅读，本书从最基本的理论出发，由浅入深，逐步进入振动工程设计、振动检测和振动控制。作者力图通过工程应用实例进行阐述，以加深理解。

全书共分为 6 章。

第 1 章介绍电子设备的环境平台、环境适应性平台及振动环境控制设计相互之间的关系、设计理念、设计准则和工程应用及评定体系。

第 2 章介绍机械振动的理论知识和基本概念，为以后的讨论提供理论知识准备。内容涉及线性系统的振动、冲击、碰撞、随机振动等，以及非线性系统的振动概念和刚度拟合技术理念。

第 3 章主要介绍环境适应性设计的设计输入，即建立环境平台的设计。环境适应性设计指标定得合理与否，关系到它在全寿命期内对环境的适应性和使用的可靠性，同时直接关系到研制与生产的技术难度、可行性、进度、成本等。本章具体介绍制定设计输入的步骤及方法，即指标论证，建立（确定）环境适应性设计的采标体系，安装环境平台实测。在对平台实测一节中，详细介绍了如何制定实测方案，对测试系统的要求，对所测数据的识别，对所测数据的处理与归纳等。

第 4 章主要介绍如何开展环境适应性平台设计，内容涉及强度设计、刚度设计、耐久和疲劳设计等。为了便于工程应用，本章还详细介绍环境适应设计的准则与设计方法（其中包括本章特别提出的响应设计），失效机理分析，典型结构设计，紧固件的选用与元器件的安装等。

第 5 章针对电子设备振动环境的特点，详细讨论电子设备隔振与缓冲系统设计原则；简要地介绍了电子设备隔振缓冲系统常用的隔振器和根据特殊环境条件设计的隔振系统。例如，强冲击环境条件下的缓冲设计理念；与机电性能密切关联的晶体振荡器隔振系统的设计；光

学系统用超低频隔振系统设计等。此外，还介绍了利用正刚度、负刚度、零刚度特性进行刚度拟合，以及进行标准后峰锯齿波脉冲发生器的设计等。

第6章主要介绍对装备（产品）抗振动和冲击能力的检测方法及检测技术，装备（产品）在实际使用中的振动和冲击是多种多样、错综复杂的，本章全面、系统地介绍了可能经受到的各种环境，其中包括正弦振动、随机振动、冲击（含冲击响应谱）、强碰撞冲击、碰撞（颠簸）、拍频振动、时间历程振动、温度/湿度/振动、振动/噪声/温度、温度/湿度/振动/高温、温度/振动（正弦）、低温/低气压/振动等现用的与振动和冲击有关的检测方法。在每项检测方法中介绍了它模拟的环境，对装备的影响机理，检测的要求和条件，检测的程序，对检测设备的要求，做好该项检测工作的技术等。

由于我们的能力和认识水平有限，错误在所难免，还望朋友们指教、纠正。

本书第1、2、5章由季馨教授撰写，第3、6章由王树荣研究员撰写，第4章由季馨、王树荣撰写，季凡渝参与了部分内容的编写，陈惠明高级工程师参与了全书的审阅工作。

在本书编写过程中，李玲珍教授倾注了大量的心血，在此表示衷心的感谢。捷诺公司徐玉燕、周洪梅、葛勤、施冠军等同志在图文设计输入方面做了大量工作，在此一并感谢。

我们都是七十多岁的人了，总想把毕生的经验和教训告诉年轻人。尽管我们主观上努力了，客观上却可能并没有达到预期效果，但终归尽力了，此生无憾矣。朋友们，让我们仿效春蚕、红烛之志，为中华民族的伟大复兴、为强国富民而奋斗吧！

季 馨 王树荣

目 录

第 1 章 电子设备振动冲击适应性设计概论	(1)
1.1 引言	(1)
1.2 电子设备环境平台研究	(2)
1.2.1 环境平台的含义	(3)
1.2.2 环境平台的组成	(3)
1.2.3 环境平台研究的主要内容	(3)
1.2.4 环境平台设计的内容与步骤	(8)
1.3 电子设备环境适应性平台研究	(9)
1.3.1 环境适应性(脆值)平台的组成	(9)
1.3.2 建立环境适应性平台的研究方法	(10)
1.3.3 提高环境适应性平台的技术措施	(11)
1.4 电子设备环境控制技术及其设计准则研究	(12)
1.4.1 无源环境控制技术	(12)
1.4.2 有源环境控制技术	(13)
1.5 电子设备环境适应性设计准则	(13)
1.5.1 结构总体设计	(14)
1.5.2 模块化设计	(19)
1.5.3 优化设计	(21)
1.6 环境适应性设计实例及小结	(23)
1.6.1 环境适应性设计应用实例	(23)
1.6.2 小结	(28)
参考文献	(28)
第 2 章 电子设备振动理论基础	(29)
2.1 振动信号的基本特性	(29)
2.1.1 周期振动和准周期振动	(29)
2.1.2 非周期信号	(32)
2.1.3 平稳随机振动	(33)
2.1.4 非平稳随机振动	(39)
2.2 单自由度系统振动	(40)
2.2.1 离散振动系统的力学模型	(40)
2.2.2 单自由度系统的自由振动	(41)
2.2.3 单自由度系统的强迫振动	(44)

2.2.4	设备受基础位移激励的振动隔离——被动隔振	(45)
2.2.5	主动隔振	(47)
2.2.6	系统对非谐和周期激励力的响应	(50)
2.2.7	系统对非周期激励的响应	(51)
2.2.8	拉氏变换和传递函数	(54)
2.2.9	单自由度线性系统受随机激励的响应	(56)
2.3	多自由度系统的振动	(60)
2.3.1	力学模型和一般运动微分方程规则	(60)
2.3.2	固有频率	(61)
2.3.3	主振型	(63)
2.3.4	主振型的正交性	(64)
2.3.5	模态分析概述	(65)
2.3.6	离散多自由度系统数值解	(70)
2.3.7	二自由度系统受谐波激励的响应	(77)
2.4	弹性体系统的振动	(83)
2.4.1	杆的纵向振动和扭转振动	(83)
2.4.2	轴的扭转振动	(87)
2.4.3	梁的横向振动	(87)
2.5	非线性振动	(91)
2.5.1	非线性系统的分类	(91)
2.5.2	非线性振动的物理特性	(92)
2.5.3	求解非线性振动问题的常用方法	(94)
2.5.4	相平面	(95)
2.5.5	线性弹簧滑铰结构的弹性特性	(100)
2.5.6	非线性系统的应用和刚度拟合技术	(103)
	参考文献	(106)
第3章	电子设备振动环境适应性设计输入	(107)
3.1	引言	(107)
3.1.1	环境适应性分析与研究	(107)
3.1.2	指标论证	(107)
3.1.3	建立(确定)环境适应性设计的采标体系	(108)
3.2	用电子设备安装平台数据作为设计输入	(109)
3.2.1	平台的振动冲击特性	(110)
3.2.2	采集实际平台环境数据进行设计	(111)
3.2.3	振动与冲击数据采集大纲	(112)
3.2.4	数据采集系统	(113)
3.2.5	数据采集系统的功能与要求	(114)
3.2.6	数据现场采集	(118)

3.2.7	数据的类别	(121)
3.2.8	数据准备	(123)
3.2.9	异常现象目视检查	(124)
3.2.10	数据的分析	(129)
3.2.11	数据检验	(132)
3.2.12	数据处理	(135)
3.2.13	振动数据归纳	(141)
3.3	用规范和标准中的条件和要求作为设计输入	(145)
3.3.1	储存	(145)
3.3.2	运输	(146)
3.3.3	使用环境	(151)
	参考文献	(153)
第4章	电子设备环境适应性设计	(155)
4.1	电子设备的抗振、抗冲击设计原则	(157)
4.1.1	抗振设计	(157)
4.1.2	抗冲击设计	(160)
4.2	强度设计	(163)
4.2.1	机械结构的失效机理	(163)
4.2.2	典型结构的强度设计	(166)
4.2.3	紧固件的选用	(170)
4.2.4	元器件的安装	(172)
4.2.5	典型元器件的安装	(174)
4.2.6	印制电路板的安装	(176)
4.3	电子设备的刚度设计	(176)
4.3.1	概述	(176)
4.3.2	层次结构和二倍频规则	(177)
4.3.3	提高层次结构刚性的技术措施	(178)
4.3.4	悬臂结构的刚度设计	(180)
4.4	结构振动分析中的等效技术	(182)
4.4.1	等效质量、等效刚度和等效阻尼	(183)
4.4.2	弹性构件的等效技术	(185)
4.4.3	均布质量弹簧的等效集中质量	(185)
4.4.4	常见的无阻尼单自由度系统固有频率的计算公式	(187)
4.5	电子组装件振动环境适应性设计	(188)
4.5.1	概述	(188)
4.5.2	基板的动态特性	(191)
4.5.3	热应力	(197)
4.5.4	连接引线的应力分析	(198)

4.5.5	焊点的应力分析	(205)
4.6	电子元器件的环境适应性	(207)
4.6.1	环境条件等级	(207)
4.6.2	环境应力筛选	(211)
4.6.3	新研元器件、模块、组件、单元等必须给出明确的抗振动与冲击指标	(212)
4.7	振动试验夹具设计	(212)
4.7.1	夹具的设计准则	(212)
4.7.2	夹具结构形式	(213)
4.7.3	夹具的自重及刚度设计要求	(214)
4.7.4	夹具的刚度设计	(214)
	参考文献	(214)
第 5 章	电子设备隔振系统设计与隔振器	(215)
5.1	概述	(215)
5.1.1	振动与冲击隔离系统设计准则	(215)
5.1.2	隔振系统设计必备的原始资料	(216)
5.1.3	标准传递率曲线	(216)
5.1.4	隔振系统模块化设计基本要求	(217)
5.1.5	模块化隔振系统对隔振器的要求	(219)
5.1.6	隔振器的质量保证规范	(221)
5.1.7	隔振器的弹性特性设计	(223)
5.1.8	隔振器的阻尼特性	(226)
5.2	电子设备的强冲击隔离技术	(227)
5.2.1	强冲击隔离的基本要求	(227)
5.2.2	弹载电子设备强冲击时的响应特征	(229)
5.2.3	缓冲设计原则和工程对策	(230)
5.3	精密角限位隔振系统的设计理念	(232)
5.3.1	角限位隔振系统的分类	(232)
5.3.2	静态精定位隔振系统简介	(233)
5.3.3	动态角限位隔振系统	(233)
5.3.4	抗强冲击型动态角限位隔振系统	(235)
5.4	电子设备振动隔离系统	(236)
5.4.1	单自由度隔振系统	(236)
5.4.2	多自由度隔振系统设计	(241)
5.5	橡胶隔振器	(250)
5.5.1	胶料的力学特性	(250)
5.5.2	胶料性能的影响因素	(251)
5.5.3	橡胶隔振器设计	(251)
5.5.4	常用橡胶隔振器简介	(253)

5.6	金属隔振器	(258)
5.6.1	钢丝绳隔振器 (GS 型、GG 型)	(260)
5.6.2	金属丝网隔振器	(261)
5.6.3	金属网阻尼隔振器	(261)
5.6.4	模块化抗冲击型无峰隔振器	(262)
5.6.5	歼 (强) 击机用 GQJ 型隔振器	(267)
5.6.6	嵌入式隔振器	(268)
5.6.7	背 (顶) 架式隔振器	(272)
5.7	金属橡胶隔振器	(275)
5.7.1	JQZ 型空气阻尼隔振器	(275)
5.7.2	GFD 型低频隔振器	(275)
5.7.3	GF 型复合阻尼隔振器	(276)
5.8	晶振和频综器的二次隔振系统	(277)
5.8.1	晶振隔振器 (GQJ-J-0.1)	(278)
5.8.2	二次隔振系统的随机振动试验	(279)
5.9	光电设备的低频隔振系统	(281)
5.9.1	概述	(281)
5.9.2	低频隔振系统的特点	(282)
5.9.3	底部隔振器	(284)
5.9.4	垂向缓冲器	(284)
5.9.5	水平阻尼隔振缓冲器	(285)
5.10	并柜结构及其隔振系统设计	(286)
5.10.1	简单并柜结构及其隔振系统	(286)
5.10.2	具有公共隔振底座的并柜系统	(287)
5.10.3	应用实例	(288)
5.11	机械冲击试验台和标准冲击脉冲发生器	(293)
5.11.1	概述	(293)
5.11.2	机械冲击台简介及冲击脉冲成型器设计理念	(295)
5.11.3	标准冲击脉冲成型器	(296)
5.11.4	无回跳后峰锯齿波脉冲发生器理论模型	(300)
5.11.5	弹簧刚度拟合型脉冲发生器	(301)
5.11.6	油阻尼后峰锯齿波脉冲成型器	(303)
	参考文献	(306)
第 6 章	产品抗振缓冲性能的检测方法与技术	(307)
6.1	概论	(307)
6.2	正弦振动试验	(308)
6.2.1	试验目的、影响机理及失效模式	(308)
6.2.2	正弦振动的描述	(309)

6.2.3	试验条件及其选择	(309)
6.2.4	安装和控制	(311)
6.2.5	试验程序	(312)
6.2.6	对试验设备的要求	(314)
6.2.7	交越点和交越频率	(316)
6.2.8	加速振动试验技术	(316)
6.2.9	试验控制技术	(319)
6.3	随机振动试验	(321)
6.3.1	试验目的、影响机理及失效模式	(321)
6.3.2	随机振动的描述	(321)
6.3.3	随机过程	(324)
6.3.4	随机振动试验条件	(325)
6.3.5	对试验设备的要求	(328)
6.3.6	试验程序	(331)
6.4	冲击试验	(333)
6.4.1	试验目的、影响机理及失效模式	(333)
6.4.2	现场发生的冲击及描述	(334)
6.4.3	冲击的试验室模拟	(335)
6.4.4	试验条件及其选择	(336)
6.4.5	对试验设备的要求	(337)
6.4.6	对测量系统的要求	(339)
6.4.7	试验程序	(341)
6.4.8	冲击响应谱	(341)
6.4.9	合理选择试验所需的冲击脉冲波形	(344)
6.4.10	将产品现场的冲击响应转换成标称脉冲进行模拟与考核	(345)
6.4.11	冲击响应谱试验	(345)
6.4.12	冲击时域信号-波形再现-冲击路谱试验	(347)
6.5	强碰撞冲击试验	(347)
6.5.1	试验目的、影响机理及失效模式	(347)
6.5.2	强碰撞冲击试验机	(348)
6.5.3	轻量级强碰撞冲击试验机标准结构	(348)
6.5.4	试验条件(严酷等级)及其选择	(349)
6.5.5	安装	(349)
6.5.6	强碰撞试验程序	(349)
6.5.7	强碰撞冲击中的有关问题	(350)
6.6	碰撞(颠簸)试验	(350)
6.6.1	试验目的、影响机理及失效模式	(350)
6.6.2	半正弦脉冲	(351)
6.6.3	试验条件及其选择	(351)

6.6.4	对试验设备的要求	(354)
6.6.5	试验程序	(354)
6.7	正弦拍频振动	(355)
6.7.1	试验目的、影响机理及失效模式	(355)
6.7.2	正弦拍频振动的图示	(356)
6.7.3	正弦拍频振动试验条件	(356)
6.7.4	对试验设备的要求	(357)
6.7.5	试验程序	(357)
6.8	瞬态时间振动与冲击响应谱	(358)
6.8.1	试验目的、影响机理及失效模式	(358)
6.8.2	瞬态时间历程的描述	(358)
6.8.3	试验条件	(359)
6.8.4	对试验设备的要求	(360)
6.8.5	试验与控制	(360)
6.9	温度/湿度/振动综合试验	(362)
6.9.1	试验目的	(362)
6.9.2	影响机理与失效模式	(362)
6.9.3	试验(环境)条件要求	(363)
6.9.4	试验剖面	(367)
6.9.5	试验应力	(368)
6.9.6	统计试验方案与试验循环	(368)
6.9.7	试验应力	(369)
6.9.8	温度/湿度/振动综合环境可靠性试验剖面示例	(369)
6.10	其他	(370)
	参考文献	(371)

第1章

电子设备振动冲击适应性设计概论

1.1 引言

确保电子设备在生产、运输和工作全过程所历经的各类恶劣环境中,最可靠、最充分地发挥电子设备功能的工程设计,称为电子设备环境适应性设计,也可称为电子设备抗恶劣环境设计。

一个产品要成为一种商品,被广大消费者所接受、喜爱,直到成为名牌,占领市场;一个装备要成为一种招之即来、来之能战、战之能胜的武器,除了它的功能和性能外,就是它对环境的适应性和使用的可靠性。在许多情况下,特别是军用产品,有时宁可牺牲部分功能和性能,也要保证它具有好的环境适应性和高的使用可靠性。

环境适应性设计涉及的专业内容非常广泛,包括机械学、电子学、材料科学、传热学、电磁场理论、振动理论、电化学、人机工程学、声学、环境科学、可靠性、维修性等众多的学科技术范畴。如何将这些学科的理论应用于电子装备的工程设计,这是一个十分复杂的问题。其技术内容是互相渗透、贯通,而又互相制约的。例如,密封机柜、机箱的设计,从“三防”(防潮、防霉、防盐雾)材料的选用、设计等方面提出了要求;为解决密闭机柜内散热的问题,建议采用混合式(气—气或气—水)冷却循环系统,换热器采用高效、紧凑式的冷板装置;隔振器采用防腐蚀材料制造;研究一种新型的材料和结构形式来保证电磁兼容性问题,防止电磁波的泄漏和外来信号的干扰……又如,从散热的角度,机柜必须提供一定的流体对流通道的开设必然涉及电磁场的泄漏及信号的干扰;为了解决材料的防腐蚀问题,表面采用涂镀层方法,但绝缘涂镀层表面阻止了电流和热流的通路,给接地和导热都带来了新的矛盾。再如,印制板组件单元模块结构的刚度和强度设计,既要满足应力筛选要求,又要考虑到层次结构倍频程规则、单元模块的屏蔽、密封、散热等的综合应用。因此,如何通过理论研究和试验研究,探索出新的途径,解决电子装备环境适应性设计中出现的难题,是目前一个迫切的任务。这也要求设计人员必须具备各学科的基本理论知识,并在工程上综合、灵活运用,体现出高水平的总体设计。

在工程上,通常首先要解决好环境适应性问题,才能谈可靠性问题,这就是产品在可靠性鉴定试验前,首先必须通过环境鉴定试验的道理所在。

电子设备环境适应性设计是一项巨大的系统工程,它贯穿于电子设备从研制到运行的全寿命期。其研究内容大致可分为以下3大类:

1. 电子设备环境平台研究

设备全寿命期内必须历经的各类环境、环境组合及其相对应的严酷度的研究,可借助于广义激励 $\bar{F}(s)$ 来表征,也可以认为是环境适应性设计的设计输入。

2. 电子设备环境适应性(脆值)平台研究

电子设备在全寿命期内,在规定的的环境平台 $\bar{F}(s)$ 中,能够正常工作所允许的各类环境、环境组合及其相对应的严酷度的研究,可借助于广义响应 $\bar{Z}(s)$ 来表征,也可认为是各类环境对应设备的允许值。

3. 环境控制技术研究

将电子设备“环境平台” $\bar{F}(s)$ 中各类环境的严酷度,控制到电子设备能正常工作的“环境适应性平台(脆值平台)” $\bar{Z}(s)$ 中相应的允许严酷度,所采取的工程控制技术研究,可借助广义传递函数 $\bar{G}(s)$ 来表征。

在用某 i 单项环境条件考核电子设备时,应满足

$$\bar{F}_i(s) \cdot \bar{G}_i(s) \leq \bar{Z}_i(s) \quad (1-1)$$

式中 i ——单项环境的序号, $i=1, 2, 3, \dots$ 。

对于两项或两项以上的 j 组合环境条件 ($j \geq 2$) 的研究是非常复杂的。其一是单项环境对电子设备的影响是非线性的;其二是在 j 组合环境中,各单项环境对电子设备失灵、失效机理将发生变化,因此各环境组合后,设备损坏机理是非常复杂的。但其环境适应性设计的要求是一样的,即必须满足

$$\bar{F}_{ij}(s) \cdot \bar{G}_{ij}(s) \leq \bar{Z}_{ij}(s) \quad (1-2)$$

式中 $\bar{F}_{ij}(s)$ ——在 j 组合环境下,某 i 个单项环境规定的环境严酷度,最常见的是 GJB 150.24

A—2009 中的《温度—湿度—振动—高度试验》;

$\bar{Z}_{ij}(s)$ ——在 j 组合环境下,电子设备正常工作允许的某 i 个单项环境的严酷度;

$\bar{G}_{ij}(s)$ ——在 j 组合环境下,针对某 i 个单项环境采取环境控制的实际控制效果。

式(1-1)和式(1-2)的物理意义是一样的。

通常,当 $\bar{Z}_{ij}(s) > \bar{F}_{ij}(s)$, $\bar{G}_{ij}(s) > 1$ 时,说明设备的环境适应性平台严酷度大于环境平台严酷度。此时没有必要采取环境控制措施。反之,当 $\bar{G}_{ij}(s) < 1$ 时,则必须采取环境控制措施。

1.2 电子设备环境平台研究

众所周知,产品效能 E 是可靠性 (R)、维修性 (M) 和环境因素的函数。产品性能的先进性是至关重要的,而可靠性、维修性和环境适应性是产品性能先进性得以持久保持的保证。