

第1章 电子设备设计概论

电子技术发展迅猛，电子工业生产中的新技术、新工艺不断涌现，促进了整个产业的大发展。计算机的广泛应用，CAD/CAM 集成系统的完善，进一步推动了电子工业产业的技术革命。进入 20 世纪 90 年代，各国开始实施大力发展信息产业的战略方针，电子工业的产业结构也有了巨大变化和发展。这些变化主要表现在：各类电子器件和生产技术之间相互渗透，生产日趋规模化、自动化；集成电路的发展，器件、电路和系统之间的密切结合，电子产品制造业与信息产业界限日益模糊；电子技术与计算机应用技术日益紧密结合，电子工业已从单一的制造业过渡到电子信息产业。电子设备及各类电子产品正是随着电子工业发展而孕生，随着电子技术、信息技术与计算机应用技术的发展而发展。

1.1 概 述

所谓电子设备指利用电子学原理制成的设备、装置、仪器仪表、专用生产设备等；利用电工学原理制成的设备、装置、专用生产设备等称为电工设备或电气设备；有时也把电子设备和电工电气设备统称为电子产品（简称为产品）。

随着电子技术的发展，电子产品正广泛应用于人类生活的各个领域。电子产品的生产与发展是与电子技术的发展密切相关的。新材料的使用、新器件的出现，尤其是大规模和超大规模集成电路的出现和推广应用，以及工艺手段的不断革新，使电子产品在电路和结构上都产生了巨大的飞跃。以视听产品为例，近十几年来，电子技术领域出现的数字技术、卫星技术、光纤与激光技术以及信息处理技术等新技术，已经迅速地应用在电子工业生产中，使新一代视听电子产品的面貌为之一新，成为家庭和个人从社会取得各种信息的终端产品。这些产品技术精良、功能齐全、造型优美、使用方便，其部件正朝着高指标、多功能、小型化、低成本等方向发展。

电子产品按用途可分为民用电子产品、工业用电子产品和军用电子产品。

民用电子产品又可分为：通信类，如电话交换机、移动电话等；计算机类，如个人计算机、打印机、显示器等；家用电器类，如电视机、VCD、DVD、洗衣机、微波炉等。

工业用电子产品又可分为：通用仪器仪表，如示波器、信号发生器、万用表和电子测量仪器等；专用设备，如再流焊机、波峰焊机、贴片机、半导体加工设备、印刷电路板制造设备等；工具类，如 AOI 在线检测设备、X 光焊点检测设备等。

军用电子产品如雷达、野战通信系统等。

电子产品按产生、变换、传输和接收的电磁信号的不同，还可分为模拟产品和数字产品。现代电子产品就其功能及用途而言，大致上可以分为以下几类。

- ① 广播通信类：如广播、电视产品，各种有线及无线通信产品等。
- ② 信息处理类：如各种类型的电子计算机及其外围产品、控制设备等。

③ 电子应用类：如各种电子检测设备、雷达设备、医用电子产品及激光应用产品等。

电子产品从电子联装技术与工艺的特点考虑，可将其划分为以下几个阶段。

① 电子管技术：代表元器件是长、粗引线的元件和电子管，其电子装联方法是手工接装和手工焊接。

② 晶体管技术：代表元器件是轴向引线和晶体管，电子装联方法是半自动插装和手工浸焊。

③ 单、双列直插集成电路技术：代表元器件是径向引线，单、双列直插集成电路，电子装联方法是自动插装和浸焊、波峰焊。

④ 表面安装技术：代表元器件是无引线（含短粗引线）的片式元件（SMC）和片式器件（SMD），电子装联方法是表面安装方法及波峰焊、再流焊和载带自动焊。

⑤ 微组件技术：代表元器件是三维微型组件、甚大规模集成电路（VLSIC）、超大规模集成电路（ULSIC）和超高速集成电路（UHSIC），电子装联方法是自动表面安装、多层混合组装和裸芯片组装。

电子科学理论的发展和工艺技术的提高，使新产品，新装备层出不穷。电子产品向智能化、微型化、集成化和声表面波化方向发展。作为电子产品基础的各种电子元件则由大、重、厚向小、轻、薄方向发展，电子设备的结构设计也遇到了前所未有的挑战。而电子产品的微型化、集成化使电子产品本身的结构设计、防护设计、热设计、电磁兼容性设计、连接设计等显得极为重要。

1.2 电子设备结构设计的内容

电子设备的设计通常包括线路设计和结构设计。线路设计是根据产品的性能要求和技术条件，确定设计方案，初定方框图和电路图，在此基础上进行必要的计算和试验，最终确定线路图并选定元器件及其参数。电子设备的结构设计是根据线路设计提供的资料和数据，考虑电子设备的性能要求、技术条件等，合理地布置元器件，使之组成部件或电路单元，同时还要与其他单元连接起来，并进行机械设计和防护设计等，最后组成一台完整的产品，给出全部工作图纸。

目前，电子设备的结构设计包括以下几个方面内容。

1. 整机组装结构设计（总体设计）

根据产品的技术要求和使用的环境条件，整机组装结构设计的内容如下所述。

① 环境防护设计：包括元器件、组件及整机的热设计，防腐、防潮、防霉设计，振动与冲击隔离设计，屏蔽与接地设计等。

② 结构件设计：包括机柜、机箱（或插入单元）、机壳、机架、底座、面板、把手、锁定装置及其他附件的设计。

③ 机械传动装置设计：根据信号在传递或控制过程中，对某些参数（电或机械）的调节和控制所必需的各种机械传动组件或执行元件进行设计。

④ 总体布局：在完成上述各方面的设计之后，合理地安排结构布局，相互之间的连接

形式以及结构尺寸的确定等。

2. 热设计

产品的热设计是指对电子元器件、组件以及整机的温升控制，尤其是对于高密度组装的产品，更应注意其热耗的排除。温升控制的方法包括自然空冷、强迫空冷、强迫液冷、蒸发冷却、温差电制冷、热管传热等各种形式。

3. 电磁兼容性设计

产品中的数据处理和传输系统的自动化，要求各系统有良好的抗干扰能力。因此，应进行电磁屏蔽与接地的设计，以提高产品对电磁环境的适应性。其措施包括噪声源的抑制、消除噪声的耦合通道和抑制接收系统的噪声等。

4. 防腐设计

严酷的气候条件会引起电子产品中金属和非金属材料发生腐蚀、老化、霉烂、性能显著下降等各种破坏。因此，应根据产品所处环境条件的性质、影响因素的种类、作用强度的大小来确定相应的防护措施，设计合理的防护结构，选择耐腐蚀材料，研制新的抗腐蚀措施。

5. 机械传动装置设计

产品在完成信号的产生、放大、变换、发送、接收、显示和控制的过程中，必须对各种参数（电的或机械的）进行调节和控制。因此需要设计相应的机械传动装置或执行元件来完成这个功能。这里除了常规的机械传动装置设计外，主要是与电性能密切相关的转动惯量、传动精度、刚度和摩擦等问题的设计。

6. 结构的静力与动力计算

对于运载工具中使用或处于运输过程中的电子产品，则要求有隔振与缓冲措施，以克服由于机械力引起的材料疲劳应力、结构谐振对电性能的影响。对于薄壁和型材的机柜（机壳）结构，则还要考虑结构的强度、刚度和稳定性问题。

7. 连接设计

产品中存在着大量的固定、半固定以及活动的电气接点，实践证明这些接点的接触可靠性对整机或系统的可靠性有很大的影响。因此，必须正确地设计、选用固定连接的工艺，如钎焊、压接、熔接等。同时，还应注意对各种接插件、开关件等活动连接件的选用。

8. 人机工程学在结构设计中的应用

产品既要满足电性能指标的要求，又要使产品的操作者感到方便、灵活、安全，同时外形必须美观大方。这样就要求用人机工程学的基本原理来考虑人与产品的相互关系，设

设计出符合人的生理、心理特点的结构，更好地发挥人和机器的效能。

9. 造型与色彩的设计

产品的造型具有实用功能和使用功能，而电子产品的色彩可以给人以美的享受。优秀的造型与色彩设计即可以节省物力和财力，又可以获得最大的经济效益。

10. 可靠性试验

根据技术条件要求和产品的特殊用途，有时要对模拟产品和试制产品进行可靠性试验或人工环境试验，分析试验的结果，验证设计的正确性和可靠性指标。

由此可见，电子设备的结构设计包含相当广泛的技术内容，它是一门边缘学科，包括有力学、机械学、化学、电子学、热学、光学、工程心理学、环境科学等多门基础学科的综合应用。本教材不可能对上述的各个方面作全面阐述，而只能重点地介绍有关设计的部分重要内容。

1.3 电子设备的设计与生产过程

电子设备的寿命周期可分为四个阶段：构思与初步设想、设计与研制、制造与生产、运行与维修。前三个阶段可体现出产品的制造费用和用户的购置费用，最后一个阶段则体现了产品的使用价值，即产品的使用效果和使用期。用户的要求是以最低的购置费用，在尽可能长的时间内得到可靠的使用效果，产品设计制造者的目标应是最大限度地满足用户的要求，达到产品的性能指标，并符合其使用条件。

1.3.1 电子设备设计制造的依据

1. 产品的性能指标

产品性能指标包括电性能指标和机械性能指标。前者主要有电信号幅度的标量（如灵敏度、输出功率等）、电信号频率的标量（如频率的精度、准确度和稳定度等）、电信号的波形标量（如调制度、非线性失真和噪声抑制等）；后者主要有各类移动、旋动及传动的精度（如随动系统的跟踪度、定位系统的精度和细度等）及其结构强度。此外，不同产品尚有一些特殊的性能指标和运输、存储条件。

2. 产品的环境条件

产品的环境条件主要指气候条件、机械作用力条件、化学物理条件（如金属的腐蚀、非金属的老化、酸碱粉尘、盐雾侵蚀及生物霉菌等）和电磁污染条件（各种干扰信号的侵入和辐射）。

3. 产品的使用要求

产品的使用要求主要包括对产品体积、质量、操作控制和维护的要求。

4. 产品可靠性和寿命要求

产品可靠性和寿命要求主要包括产品的无故障工作时间和承受过负荷的能力强。

5. 产品制造的工艺性和经济性要求

产品制造的工艺性和经济性要求既要易于组织生产又要造价低廉，其设计应根据产品的用途性质（军用、民用、高可靠性及一般可靠性）、使用场合和产品自身的级别，参照国内、外同类型先进产品型号，进行设计方案的论证；应致力于性能价格比的提高，不要盲目追求高性能、高精度指标，使得制造工艺复杂、成本增高。

1.3.2 电子设备设计制造的任务

1. 预研究阶段

预研究工作的任务是在产品设计前突破复杂的关键技术课题，为确定设计任务书、选择最佳设计方案创造条件；或根据电子技术发展的新趋向，寻求把近代科学技术的成果应用于产品设计的途径，有计划地研究新结构、新工艺和新理论，以及采用新材料、新器件等先行性技术课题，为不断在产品设计中采用新技术，创造出更高水平的新产品奠定基础。该阶段的工作，一般按拟定研究方案、试验研究两道程序进行。

(1) 拟定研究方案，明确目的，确定研究工作方向和途径

其主要工作内容有：

- ① 搜集国内、外有关技术文献、情报资料，必要时调查研究实际使用中的技术要求。
- ② 编制研究任务书，拟定研究方案，提出专题研究课题，明确其主要技术要求。
- ③ 审查、批准研究任务书和研究方案。

(2) 解决关键技术课题，得出准确数据和结论

试验研究是为了通过研究探索工作解决关键技术课题，得出准确数据和结论。在试验研究中，应善于利用现有的技术基础进行新的科学试验，善于利用模拟或代用的方法取得试验数据。主要内容有：

- ① 对已确定各专项研究课题，进行理论分析、计算，探讨解决的途径，减少盲目性。
- ② 设计、制造试验研究需要的零件、部件、整件、必要的专用设备和仪器。
- ③ 展开试验研究工作，详细观察、记录和分析试验的过程与结果，掌握第一手资料。
- ④ 整理试验研究的各种原始记录，进行全面分析，编写预先研究报告。

预研究工作结束时，应达到的目标是：出具整理成册的各种试验数据记录、各项专题的试验研究报告等原始资料，出具预研究报告书。

2. 设计性试制阶段

凡自行设计或测绘试制的产品，一般都要经过设计性试制阶段。其任务是根据批准的

设计任务书，进行产品设计，编制产品设计文件和必要的工艺文件，制造样机，通过对样机全面试验，检查鉴定产品的性能，从而肯定产品设计与关键工艺。一般工作程序如下所述。

(1) 论证产品设计方案，下达设计任务书

其主要工作内容有：

- ① 搜集国内、外有关产品的设计、试制、生产的情报资料及样品。
- ② 调研使用的需要情况及实际使用中的技术要求和经验，确定试制产品目标。
- ③ 会同使用部门编制设计任务书草案，同时提出产品设计方案，论证主要技术指标，批准下达设计任务书。

(2) 进行初步设计和理论计算

其主要工作内容有：

- ① 进行理论计算，按计算结果，对产品或整个体系的各个部分合理分配参数。
- ② 通过必要的试验，进一步落实设计方案，提出线路、结构及工艺技术关键的解决方案。
- ③ 编制初步设计文件。
- ④ 对需用的人力、物力进行概算。

(3) 进行技术设计

技术设计的主要工作有：

- ① 根据对技术指标的修正意见，进一步调整分配产品的部分参数。
- ② 拟定标准化综合要求。
- ③ 编制技术设计文件。
- ④ 对结构设计进行工艺性审查，制定工艺方案。

(4) 进行样机制造

样机制造的主要工作有：

- ① 编制产品设计工作图纸与必要的工艺文件。
- ② 设计制造必要的工艺装置和专用设备。
- ③ 通过试验掌握关键工艺和新工艺。
- ④ 制造零、部、整件与样机。
- ⑤ 对样机进行调整，进行性能试验和环境试验，对是否可提交现场试验做出结论。

(5) 现场试验与鉴定

主要工作有：

- ① 通过现场试验检查产品是否符合设计任务书规定的主要性能指标与使用要求，试验编写技术说明书。
- ② 组织鉴定，对能否设计定型作出结论。

(6) 设计性试制工作结束时应达到的条件

- ① 具备产品设计方案的论证报告、初步设计文件和技术设计文件。
- ② 具备产品设计工作图纸及技术条件。
- ③ 具备产品工艺方案及必要的工艺文件。
- ④ 具备整理成册的各种试验的原始资料、试验方法与规程。
- ⑤ 具备必要的专用工艺装置、设备及其设计图纸。
- ⑥ 具备结构的工艺性审查报告、标准化审查报告及产品的技术经济分析报告。
- ⑦ 具备一定数量的样机及现场试验报告。
- ⑧ 具备产品需要的原材料、协作配套件及外购件汇总表。

3. 生产性试制阶段

(1) 主要内容

- ① 修改产品设计文件，修改与补充生产工艺文件。
- ② 培训人员，调整工艺装置，组织生产线，补充设计制造工艺装置、专用设备。
- ③ 按照设计文件和工艺文件，使用工艺装置和专用设备制造零件，进行装配、调试，考查各种文件及装置的适用性及合理性。
- ④ 做好原始记录，统计分析各种技术定额。
- ⑤ 拟定正式生产时的工时及材料消耗定额，计算产品劳动量及成本。

(2) 生产性试制工作结束应达到下列条件

- ① 具备修改过的产品设计文件及工艺文件。
- ② 具备满足成批生产需要的工艺装置、专用设备及其设计图纸。
- ③ 根据需要，选定标准样机与样件。
- ④ 初步确定成批生产时的流水线和劳动组织。
- ⑤ 对符合技术条件的小批量生产产品，提出产品成本概算。

4. 产品的鉴定、定型

鉴定的目的在于对一个阶段工作作出全面的评价和结论。在审查时，一般应邀请使用部门、研究设计单位和有关单位的代表参加。重要产品的鉴定结论应报上级机关批准。

(1) 申请设计定型的标准产品其主要性能稳定

- ① 经现场试验（或试用）符合设计指标和使用要求。
- ② 主要配套产品和主要原料可在国内解决。
- ③ 具备了规定的产品设计文件和技术条件。

(2) 申请生产定型的标准具备生产条件

- ① 生产工艺经过中、小批量考验，生产的产品性能稳定。

- ② 产品经试验后符合技术条件。
- ③ 具备生产与验收的各种技术文件。

1.3.3 整机制造的内容和顺序

1. 原材料、元器件检验

理化分析和例行试验工厂为保证产品质量，对进厂的原材料、辅助材料和外购元器件都要进行入厂质量检验。例如，原材料的理化分析，关键（或主要）元器件的例行试验。这些工作由检验部门根据供应部门提供的元器件和原材料进行。

2. 主要元器件的老化

筛选是为了剔除早期失效的元器件，提高元器件的上机率，对主要元器件（特别是半导体器件）应进行老化筛选，主要内容有高低温冲击、高温储存及带电负荷等。

3. 零件部制造

电子整机所用的零件分通用零件（包括标准零件）和专用零件两种。一般通用零件和标准零件都是外购的，专用零件则由本厂自制。民用电子产品的专用零件数量不多，军用和专用电子产品的专用零件数量较多。因此，整机厂都具有一定的机械加工设备和技术力量，特别是模具制造力量。

4. 通用工艺处理

它包括对已制造好的零件、机箱、机架、机柜、外壳、印制板、旋钮和度盘等，进行电镀、油漆、丝网漏印、化学处理及热处理加工，以便提高这些零件的耐腐蚀性，增强外观的装饰性。

5. 组件装校

一般专用组件的装校都由专业车间进行，也可由总装车间承担。无论采取哪种方式，其目的都是使组件具有完整的独立功能。组件装配完毕之后，须对其进行调整和测试，以求得性能达标。

6. 总装

它包括总装前的准备、总装流水、调试、负荷试验和检验包装。

① 准备加工在流水线生产和调试以前。先将各种原材料、元器件等进行加工处理的工作，称为预加工（装配准备）。某些不便在流水线上操作的器件，由于事先做了预加工，也可减少在流水线上安排的困难。典型的预加工包括导线的剪切、剥头及浸锡，元器件引脚的剪切、浸锡及预成形，插头座连接，线扎的制作、标记打印，高频电缆、金属隔离线的加工等。

② 总装流水：整机总装是在装配车间（亦称总装车间）完成的。总装应包括电气装配

和结构安装两大部分，而电子产品则是以电气装配为主导、以其印制电路板组件为中心而进行焊接和装配。流水作业操作是目前电子产品总装的主要形式。由于采用传送板或传送带顺序移动加工产品，极大地提高了劳动效率。

③ 负荷调试：一般在产品总装完成后都要进行调试和负荷试验。调试、负荷的时间和方式，根据产品而定。

④ 根据技术条件和使用要求在总装完成后必须进行检验和必要的例行试验，完全符合标准的产品方可包装和入库。

1.4 电子设备的工作环境

电子设备的应用领域十分广泛，储存、运输、工作过程中所处的环境条件是复杂而多变的，除了自然环境以外，影响产品的因素还包括气候、机械、辐射、生物和人员条件。制订产品的环境要求，必须以它实际可能遇到的各种环境及工作条件作为依据。例如，温度、湿度的要求由产品使用地区的气候、季节情况决定；振动、冲击等方面的要求与产品可能承受的机械强度及运输条件有关；还要考虑有无化学气体、盐雾、灰尘等特殊要求。

电子设备所处的环境，大体上可分为使用环境、自然环境和特殊使用环境三大类。

在使用环境中电子产品主要受到下面一些因素影响：腐蚀性介质（如二氧化硫、二氧化碳等、工业排放液体、腐蚀性粉尘等）；高低温因素（如冶炼厂的工业高温、冷冻厂的工业低温等）；高低压因素（如各类液体、气体输送管道等）；固体颗粒粉尘（如磨损性粉尘、导电性粉尘、可燃性粉尘等）。由于电子产品用途广泛和运输工具的不同，其使用环境相当复杂，其中包括一般室内环境、一般室外环境、恶劣的工业环境、地面车辆环境、水域舰船环境、地下坑道环境、空间飞行环境、原子辐射环境等。

在自然环境中产品主要受到下面一些因素影响：温度（高温、低温、交变温度等）、湿度、气压（高气压、低气压）、辐射（太阳辐射、放射性物质辐射）、风沙、降水（如降雨、雪、霜、露、雹、浸水等）、盐雾、生物等因素。

在特殊使用环境中产品主要受到下面一些因素影响：飞机的飞行与作战状态；坦克的行驶与作战状态；地面电子产品运输及野战工作状态；沙漠地区；丛林地区；水下航行的舰艇；宇宙飞行器航行的环境等。

必须指出，在对环境影响因素进行分析时，既要考虑一般的情况，又要确定主要影响因素。例如，温度的影响，有夏季野外作业持续性的高温作用、冬季或高寒野外作业持续性低温作用、瞬态高温或低温的作用（热冲击）及周期性变化温度的作用等，这些都要进行具体的分析。在对客观因素作估计时，应考虑各个作用因素的强度、作用的时间、重复的次数等。所以在产品设计中，在选择电子产品的允许最高温度时，既要考虑一般的自然条件（自然环境），又要考虑使用条件（使用环境），确定其主要影响因素，根据自然环境和环境中各个因素可能出现的最恶劣情况进行结构设计，以保证产品在受到多种环境因素的长期综合作用下，仍能稳定而可靠地工作，所采取的防护措施是安全、可靠的。

我国疆域辽阔，南北跨越的纬度近 50° ，大部分在温带、亚热带，小部分在热带。根据我国地理位置分布，产品的气候条件分为热带、亚热带、温带和亚寒带四个气候带和湿

热区、亚湿热区、亚干热区、高原区、温和区和干燥区六个气候区。

在实际环境中，各种环境因素（高温、湿度、盐雾、太阳辐射、霉化冲击振动、沙尘等）不是单一的，至少是两种或两种以上环境因素同时出现的。

环境因素造成的产品故障是严重的。1971年，美国曾对机载电子产品全年的各类故障进行过剖析，结果发现，70%以上的故障系各种环境因素所致。温度、振动及潮湿环境造成电子产品43.58%的故障。环境对电子产品的影响不能不引起我们极大的关注。

电子设备最重要的失效原因，可能是各种环境因素造成的腐蚀。潮湿、高温、盐雾、电化学反应及各种污染性杂质等，都可能造成腐蚀。腐蚀的速率决定于这些环境因素的强弱。例如，相对湿度大于60%常常可以引起材料腐蚀速率的显著增加。热应力可能使材料发生裂缝，污染性杂质乘虚而入。环境因素对电子电气元器件、材料的主要影响如表1-1所示。

表 1-1 环境因素对电子电气元器件、材料的主要影响

气候条件	影 响	结 果
高温	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料软化 ● 化学分解和老化 ● 设备过热 ● 润滑油黏度降低 ● 金属膨胀不同 ● 金属氧化加速 	<ul style="list-style-type: none"> ● 结构的强度减弱 ● 元件材料电性能变化，甚至损坏 ● 元件损坏、着火、低熔点焊锡缝开裂或焊点脱开 ● 轴承损坏 ● 活动部分卡住、紧固装置出现松动、接触不良 ● 接地接触电阻增大，金属材料表面电阻增大
低温	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料变脆 ● 润滑油、脂黏度增大 ● 材料收缩不同 ● 元件的性能变化 ● 密封橡胶硬化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 结构的强度减弱、电缆损坏、蜡变硬、橡皮发裂 ● 轴承、开关等产生“黏滞”现象 ● 活动部分被卡住，插头、插座、开关等接触不良 ● 铝电解电容损坏，石英晶体不振荡，蓄电池容量降低，继电器接点烧结 ● 气密设备的泄漏率大
高低温变化	<ul style="list-style-type: none"> ● 剧烈的膨胀与收缩产生内应力 ● 交替的凝露、冻结与蒸烤 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加速元件、材料的机械损伤和电性能变化
高湿	<ul style="list-style-type: none"> ● 水蒸气沉积 ● 吸收水分 ● 金属腐蚀 ● 化学性质变化 ● 水在半密封设备中凝聚 	<ul style="list-style-type: none"> ● 绝缘电阻降低，“导电小路”飞弧出现，介电常数增大，介质损耗增大 ● 某些塑料零件隆起和变形，电性能变化，结构破坏 ● 结构强度减弱，活动部分被卡住，表面电阻增大，电接触不良，其他元件材料受到腐蚀物的沾污 ● 材料发生溶解和变化 ● 上列故障均可能发生
干燥		<ul style="list-style-type: none"> ● 木材、皮革和纤维织物之类的材料变干而发脆
湿热交替变化	<ul style="list-style-type: none"> ● 材料毛细管的“呼吸作用” 	<ul style="list-style-type: none"> ● 加速材料的吸潮和腐蚀过程
高气压	<ul style="list-style-type: none"> ● 气密设备中的应力 	<ul style="list-style-type: none"> ● 结构损坏、漏泄

续表

气候条件	影 响	结 果
低气压	<ul style="list-style-type: none"> ● 空气抗电强度降低 ● 空气介电常数减小 ● 气密设备中的应力增大 ● 散热困难 ● 冷焊 	<ul style="list-style-type: none"> ● 容易产生击穿，高压点的飞弧、电晕现象增加 ● 元、器件电参数发生变化 ● 密封外壳变形，焊缝开裂，结构损坏、泄漏 ● 设备温度升高 ● 机械动作困难
盐雾	<ul style="list-style-type: none"> ● 金属腐蚀 ● 绝缘材料电阻下降 	<ul style="list-style-type: none"> ● 对含镁量高和具有相互接触的不相同金属腐蚀尤为严重，结构强度减弱 ● 产生凹点，表面电阻和抗电强度降低
大气污染	<ul style="list-style-type: none"> ● 金属腐蚀 ● 化学性质的变化 	<ul style="list-style-type: none"> ● 某些塑料膨胀，介质损耗增大
霉菌	<ul style="list-style-type: none"> ● 霉菌吞噬和繁殖 ● 吸附水分 ● 分泌酶 	<ul style="list-style-type: none"> ● 所有有机材料和部分无机材料强度降低，甚至损坏，活动部分被阻塞 ● 元件、材料表面绝缘电阻降低，介质损耗增大 ● 金属腐蚀
灰尘和砂	<ul style="list-style-type: none"> ● 进入活动部分 ● 静电荷增大 ● 吸附水分 	<ul style="list-style-type: none"> ● 轴承、开关、电位器和继电器、接触器等损坏，接触不良，产生电噪声 ● 降低元件、材料的绝缘性能
日光	<ul style="list-style-type: none"> ● 设备过热 ● 光化效应 	<ul style="list-style-type: none"> ● 元件损坏、着火 ● 有机材料加速老化和分解，油漆褪色和剥落，软橡皮发硬开裂，抗张强度降低
大风	<ul style="list-style-type: none"> ● 对户外设备结构产生应力 	<ul style="list-style-type: none"> ● 结构损坏

环境因素造成产品故障和失效可分为以下两类。

① 功能故障指产品的各种功能出现不利的变化，如受环境条件的影响，功能不能正常发挥；但一旦外界因素消失，功能仍能恢复。

② 永久性损坏，如机械损坏等。

1.5 温度、湿度、霉菌因素影响

实践表明，电子元件的故障率随元件温度的升高呈指数关系增加，产品线路的性能则与温度的变化成反比。因此，为了提高产品的工作性能和可靠性，在进行产品的结构设计时，必须对产品和元器件的热特性进行仔细的分析和研究，以便进行合理的热设计。

1.5.1 温度对元器件的影响

1. 温度对真空器件的影响

过高的温度对真空器件玻璃壳和内部结构均有不良的影响。此外，温度过高会使玻璃壳产生热应力而损坏，同时也能使管内的气体电离，电离后的离子将轰击阴极，破坏其涂

覆层，导致发射率下降，加速老化，降低其工作寿命。因此，真空器件的玻璃壳温度不得超过 150~200℃。

2. 温度对功率器件的影响

功率器件的结温是由功率器件的耗散功率、环境温度以及散热情况所决定的，而功率器件结温对其工作参数及可靠性有很大的影响。

① 功率器件的电流放大倍数随结温的升高而增大。这将引起工作点的漂移，增益不稳定，可能造成多级放大器自激或振荡器频率不稳定等不良后果，即使采用各种补救措施，其影响也不能完全消除。因此温度的变化是使产品性能不稳定的因素之一。

① 功率器件的热击穿。当功率器件的结温升高时，会使穿透电流和电流放大倍数迅速增加，由于集电极电流的增大促使结温进一步升高，而结温升高又使电流进一步增大，如此形成了恶性循环直至功率器件损坏。为了防止热击穿，功率器件的结温就不宜过高。

3. 温度对电阻和电容类器件的影响

温度的升高导致电阻的使用功率下降。如 RTX 型碳膜电阻，当环境温度为 40℃ 时，允许的使用功率为标称值的 100%；当环境温度增至 100℃ 时，允许使用功率仅为标称值的 20%。又如 RJ-0.125W 金属电阻，当环境温度为 70℃ 时，允许使用功率为标称值的 100%；当环境温度为 125℃ 时，允许使用功率仅为标称值的 20%。此外，温度的变化对阻值大小有一定的影响，温度每升高或降低 10℃，电阻大约要变化 1%。

温度对电容器的影响主要是降低其使用时间。通常认为，当超过规定许用温度下工作时，每提高 10℃，使用时间就要下降一半。此外，温度的变化也会引起电容、功率因素等参数的变化。因此，对各种电容器的允许工作温度也进行了规定。

4. 温度对电感类器件（变压器、扼流圈）的影响

电感类器件常见的有变压器、扼流圈等。温度对这两类元件的影响除降低其使用时间外，绝缘材料的性能也下降。一般变压器、扼流圈的允许温度要低于 95℃。

5. 温度对微波器件的影响

微波器件包括微波管（如磁控管、返波管、速调管、行波管）和微波半导体器件（如变容管、隧道二极管、微波晶体管）等。温度对微波管的影响主要表现在：温度过高将影响微波管的谐振频率、工作效率、工作稳定性及工作寿命等。通常微波管需要冷却的部件包括收集极、管体、电磁线圈，有时输出窗和阴极引线也需要冷却。

对于用变容管制作的参量放大器，为了减小其热噪声，也需要采取适当的冷却措施。

1.5.2 湿度对电子产品整机的影响

在不良气候环境中，潮湿对产品的威胁最大，尤其在低温高湿条件下，因空气湿度达到饱和而使机内元器件、印制电路板上产生凝露现象，使电性能下降，故障率上升。若在高温高湿（如南方气候）的条件下，水分附着在材料表面或渗入内部，使材料表面电导率

增加,造成短路,由短路造成的大电流会引起火灾。对库存、闲置或周期性停机的设备,由于没有经常开机,失去了机内温升自动驱潮的机会,往往更容易发生故障。另外,潮湿会加速金属材料的锈蚀,在有盐雾和酸碱等腐蚀性物质的空气作用下,金属的腐蚀更加严重。在一定温度下,潮湿能促进霉菌的生长,并引起非金属材料的霉烂。因此,防湿、防盐雾、防霉菌三者很难截然分开。

在设计电子设备时采取防潮措施是必要的。首先要合理选用材料,在满足结构强度、性能要求和经济性的情况下,应采用耐腐蚀、耐湿,化学稳定性好的材料;同时,还应采取如下措施。

1. 浸渍

浸渍是将处理的元器件或材料浸入不吸湿的绝缘漆中,经过一定时间,使绝缘液体进入元器件或材料的小孔、缝隙和结构的空隙,从而提高元器件或材料的防潮性能。浸渍主要用于线绕产品(变压器、电感线圈等)。在浸渍时,空隙和气孔在被填满的同时在绕组表面会形成绝缘层,由于浸渍的结果提高了电气强度和机械强度,另外,因排挤出热导率低的空气而改善了线绕部件的导热性。

2. 灌封

灌封是用热熔状态的树脂、橡胶等将元器件浇注封闭,形成一个与外界环境完全隔绝的独立整体。灌封除可以保护元器件避免潮湿和腐蚀外,还能避免强烈振动、冲击及剧烈温度变化对电子元器件造成的不良影响。此法适用于小型的单元电路、部件及元器件。因为维修时难以单独拆卸已灌封的内部个别元件,因而需整体更换。所以不适合大面积灌封,只适用于对潮湿较为敏感的细小部件、单元电路。

对于灌封材料的要求是:应具有优异的黏附力、很小的透湿性、较高的软化点以及优良的向物体缝隙渗透能力。

3. 密封

密封是一种机械防潮的手段。将元器件、部件或一些复杂的装置等安装在不透气的密封盒内,这是防止潮湿长期影响的有效方法。

4. 驱潮

对于一些不经常使用的仪器,通过定期定时通电加热的方法,让其自动驱除潮气。

5. 吸潮

将一些具有较大吸水性的吸潮剂(如硅胶)置于仪器内部进行吸潮。硅胶可以吸收其本身质量 30%的水分,硅胶吸水达到饱和时呈蓝紫色,可在 120~150℃的烘箱中烘干后继续使用,所以用硅胶作为吸潮剂是一种较为经济有效的办法。

1.5.3 霉菌对电子产品整机的影响

霉菌是指生长在营养基质上而形成的绒毛状、蜘蛛网状或絮状菌丝体的真菌。霉菌的孢子在适宜温度（如 20~30℃）、湿度、pH 值和其他条件下会发芽、生长，繁殖非常迅速（其细胞每 15~20 min 即可分裂一次），霉菌可谓无孔不入，凡是空气能潜入的地方它都能进入。由于霉菌的繁殖既可通过自身分泌的酶在潮湿条件下分解有机物而获取养料，又可在元器件上的灰尘、人手留下的汗迹、油迹中摄取营养，这个摄取营养的过程就是霉菌侵蚀和破坏许多有机物的根本原因。

1. 霉菌对电子产品的危害

霉菌对电子产品的危害分为直接危害和间接危害两种。

(1) 直接危害

由于霉菌在生长和繁殖过程中从有机材料中摄取营养成分，从而使材料结构发生破坏，强度降低，物理性能变坏，电性能恶化。同时，霉菌本身作为导体可以造成短路，给电子产品带来更严重的后果。

(2) 间接危害

由于霉菌在新陈代谢过程中分泌出的二氧化碳及其酸性物质引起金属腐蚀和绝缘材料的性能恶化。同时，霉菌还会破坏元器件和产品的外观，给人的身体健康造成危害。

2. 防霉菌措施

在设计电子设备时采取防霉菌措施是必要的，首先要合理选用材料，在满足结构强度、性能要求和经济性的情况下，应采用抗霉、化学稳定性好的材料；同时还应采取如下措施。

(1) 控制环境条件

因为霉菌的生长和繁殖需要适当的环境，如能破坏其生长条件，就能达到防霉菌的目的。如在产品内部放入干燥剂或采取密封措施，保持设备内部干燥。经常保持产品的清洁，有条件时可将产品处于低温（6℃是霉菌的最低生长温度）、通风良好的干燥环境中。

(2) 使用抗霉材料

材料的抗霉性，主要取决于材料本身的性质。一般含有天然的有机材料，如皮革、木材、棉织品、丝绸、纸制品等极易受霉菌的侵蚀，而石英粉、云母等无机矿物质材料，则不易长霉。因此，电子产品中应尽量避免使用上述各种有机材料，宜采用玻璃纤维、石棉、云母、石英等填料的层压塑料和层压材料；橡胶宜采用氟橡胶、硅橡胶、氯丁橡胶等合成橡胶；黏结剂及密封胶宜采用以环氧、环氧酚醛、有机硅环氧合成树脂（或合成橡胶）为基本成分的黏结剂；绝缘漆宜采用改性环氧树脂漆和以有机硅为基本成分的油漆。

(3) 用紫外线杀菌

用足够强度的紫外线的辐射和日光的照射，不仅能防止霉菌对电子产品的侵入，而且可以消灭霉菌。

(4) 防霉处理

当不得不使用不耐霉或耐霉性差的材料时，则必须使用防霉剂进行防霉处理。防霉剂是化学药品，能够抑制霉菌的生长、繁殖或杀灭。

防霉剂的使用方法有以下三种。

- ① 混合法：把防霉剂与材料混合在一起，制成具有防霉能力的材料。
- ② 喷涂法：把防霉剂和清漆混合后，喷涂在整机、零部件和材料表面。
- ③ 浸渍法：制成防霉剂溶液，对材料进行浸渍处理。

1.6 电磁噪声因素影响

近几年来，随着各种电气产品和电子产品数量和品种的增加，电磁噪声的干扰（Electro-Magnetic Interference, EMI）也越来越引起人们的重视。每当设计一台新的电子装置时，为保证其能够正常工作，如何设法排除这一干扰，是一个极为重要的问题。但如何解决电磁噪声干扰，这既是一个老问题又是一个新问题。比如机器的设计、安装配线方法，以及保管和应用等问题，甚至包括建筑物的设施环境等问题等，所涉及的领域非常广泛。从电磁噪声干扰的原因来分析，对噪声本身而言，多数情况下，它是完全没有利用价值的，而且是有害的，但有时也不尽然。随着电子应用设备的增加，可能有些信号对有的系统来说是有用的信号，但对另外一个系统来说，却成了一个干扰源，而且这种现象有逐渐增加的趋势。因此，如何使多数电子产品在被干扰信号入侵时能够维持一个满意的工作状态，或者说能够保持一个共存的电磁环境，这是今后迫切需要解决的问题。也正在这种背景，出现了兼容性电磁学，一个新的电子学领域。

当电子产品所产生的电磁噪声不干扰任何其他产品正常工作时，我们说这些产品是电磁兼容的。电磁兼容性（EMC）是一种令人满意的情况，在这种情况下，无论是在系统内部，还是对其所处的环境，系统均能如预期的那样工作。

当不希望的电压和电流影响产品性能时，称之为存在电磁干扰，这些电压和电流可以通过传导或电磁场辐射传到受害的产品。改变设计、调整信号电平或噪声电平的过程，称为电磁干扰控制（EMIC）。通常也用这个词表示实现这种控制的管理措施。

为了排除电磁干扰，最重要的是首先找出干扰源，然后采取对策。从理论上说，只要干扰源能被定量掌握，自然可取得解决的措施。道理虽然如此，但是真正实现防止噪声干扰，达到理想目的还是相当困难的，问题也相当复杂。从因果关系来说，如果原因和结果一一对应，那么还容易导出因果关系的法则。但如果噪声干扰由于多种原因，即干扰结果是一个复杂的因果关系，那么这种情况就不能采取快刀斩乱麻的办法。

1.6.1 噪声系统

所谓噪声是指电路中出现不应有的电信号而干扰电子产品的正常工作，对此必须予以消除或抑制。由噪声而造成的不良效应，称为干扰。如测量系统中的测量信号由于噪声而被歪曲，这种歪曲就是干扰，歪曲越严重则表明噪声造成的干扰越大。

电路中之所以出现噪声，肯定是在某处产生了噪声且经一定方式侵入测量电路的结果。所以，噪声系统显然是由如下三个环节构成（如图 1-1 所示）：噪声源、对噪声敏感接收电路、噪声源到接收电路间的耦合通道。

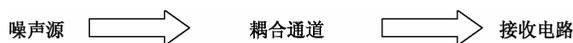


图 1-1 噪声系统

由图 1-1 所示噪声系统可见，降低噪声强度解决噪声问题，可从如下三方面着手：抑制噪声源的噪声、使接收电路对噪声不敏感、抑制耦合通道的传输。

为此，本节将介绍客观上存在的主要噪声源，在以后相关章节中将分别介绍噪声耦合的途径和噪声抑制技术。

1.6.2 噪声分析

1. 噪声源分类

噪声源按其产生原因可分为如下三种。

- ① 固有噪声源，即由物理性的无规则波动所造成的噪声，例如，热噪声和散粒噪声等。
- ② 自然界干扰，如雷电、太阳黑子等。
- ③ 人为噪声源，如由电动机换向火花、开关通断、发射机辐射电磁波等产生的干扰。

我们主要分析人为噪声源，而这种噪声源按产生位置又可分为在测量系统内部和在测量系统外部两类。

① 电子产品内部：这些噪声源产生的干扰，诸如交流噪声、不同信号的感应以及寄生振荡等，这些应由设备设计者予以解决，对于测量工作者主要关心的是产品外部噪声源。

② 电子产品外部：有放电噪声源和电器噪声源。由各类噪声源可以看出，噪声是客观存在于我们周围的。例如，我们设置一个测量系统对某机器进行测量，在测量系统外部，始终存在着广播电磁波和电源线的工频干扰，以及机器上电动机和火花塞等的辐射干扰；在测量系统中，各部件间的相互干扰也一直存在着。所以，我们的任务只能是设法降低噪声的强度，使其不致形成干扰。

2. 放电噪声源

放电噪声源是产生干扰的一种主要噪声源，这种噪声源可以分为电晕放电噪声源、火花放电噪声源和放电管噪声源几类。

(1) 电晕放电噪声源

电晕放电噪声源主要是高压输电线。高压输电线产生的电晕放电具有间歇性质从而产生脉冲电流，且在放电过程中产生高频振荡，因而成为具有相当带宽的强噪声源。电晕放电噪声的衰减特性在输电线垂直方向上噪声电平大致与距离的平方成反比，因此，应远离这种噪声源，以避免它的影响。

(2) 火花放电噪声源

在放电噪声源中，火花放电噪声源占绝大部分。火花放电噪声源有如下几种。

① 天电。在自然现象中，雷电、低气压、台风、寒带飞雪、火山喷烟以及黄砂等都能引起火花放电产生噪声。雷电为典型代表，它可以在低频几千赫至甚高频范围内造成干扰，且传播距离很远。

② 电气设备类。电动机是常见的火花放电噪声源，在有整流子的旋转电机中，由于电刷与整流片在断开瞬间会产生火花，且这一过程不断反复进行，因此在很宽的频率范围内引起噪声；在没有整流子的电机中，由于电刷与滑环在旋转中接触状态不断变化，也会产生火花引起噪声。

还有火花式高频电焊机，它是利用所产生的火花进行加工的，由于火花能量很大，所以这类电气设备产生的噪声很强，且从电源电路传到配电线上所引起的噪声，比其直接辐射到空间的影响要大。

③ 开关设备类。由于开关在断开时，开关两极间的距离由零过渡到断开状态中，在很小距离的瞬间，两极间产生火花放电，因而成为在很宽频率范围内的一种噪声源。所以，在我们周围的各种电开关都是形形色色的噪声源。

④ 汽车发动机点火装置。汽油机的火花塞能产生非常陡峭的冲击电流，从而使电路振荡，且由点火导线等辐射出来成为噪声源。这种噪声源具有非常高的频率分量，因此，它是对电视以及甚高频信号的一种极其有害的噪声源。

⑤ 电车。电车中除电动机是噪声源外，馈电线和集电弓间由于接触状态的变化，会产生火花放电和弧光放电，因而也是噪声源。然而，火花放电比弧光放电的噪声强度要大得多。

(3) 放电管噪声源

荧光灯和霓虹灯等放电管的大量使用，因而构成了此类噪声源。放电管放电属于辉光放电或弧光放电。这种噪声频率可从几十赫至甚高频，频带极宽，对各种频率信号都会产生影响。

3. 电器噪声源

电器噪声源可分为如下几类。

(1) 工频噪声源

大功率的输电线是工业频率的噪声源。低电平的信号线只要有一段距离与输电线相平行，即使输电线功率并不大，也会受到相当的干扰。例如，测量系统的电源线就是这种噪声源，信号线切忌与之平行。此外，无论室内或室外，这种工频输电线是密布的，因此，

它是经常存在的、应值得注意的噪声源。

(2) 射频噪声源

广播发射机和雷达以及各种无线电收发报设备等，在它的近区内都是噪声源。值得注意的是在使用的测量系统中，具有振荡器的仪器，它将产生振荡频率的噪声辐射，由于它就在测量系统中，所以往往是一种强的噪声源。

(3) 电子开关

电子开关不会产生火花放电，所以不是放电噪声源，然而电子开关的通断会使电流发生急剧的变化，因而成为噪声源。例如，使用可控硅的电压调整电路就是一种电子开关噪声源。在测量系统中常采用的将直流变换成交流的逆变器就是典型代表，这种电路在工频的每半周就闭合一次，产生陡峭的电流前沿，因而高次谐波分量很多，当信号线与其临近时，将会产生感应噪声。

(4) 脉冲发生器

产生脉冲波形的这类产品，由于脉冲波形的电流、电压上升前沿陡峭，包括有丰富的高次谐波，当信号线同它平行时会产生感应噪声，因而成为一种噪声源。例如，以脉冲作为输出信号的电钟就是其中一例。

4. 其他噪声源

(1) 电化作用

当低电平的信号通路中使用了不同的金属时，由于两种金属间的电化作用，会产生噪声。这种电化作用首先是当两种金属连接处有湿气时形成的化学湿性电池，产生接触电压；另外是电蚀作用，电蚀是由于正离子由一种金属跑到另一种金属中去的缘故，使电位较高的金属逐渐被破坏。铜和铝接触后发生的电蚀作用最严重，但却往往被人们忽视，结果是铝被腐蚀掉，如在铜上涂焊锡，则这种电化作用会变慢。

(2) 电解作用

当两种金属接触时，一般由于周围潮气形成的弱酸成为电解质，如有直流电通过时，就会发生电解作用。这种电解作用与相接的两种金属无关，即使是同一种金属也会发生这种作用，从而成为一种隐蔽的噪声源。

(3) 摩擦电效应

电缆中的介质与导体间由于摩擦可以带电，称为摩擦电效应，从而成为噪声源。电缆的急剧弯曲和电缆的活动会产生这种效应，应予以防止。

(4) 导体的运动

当一段导线在磁场内运动时，线的两端就会产生电压。由于在我们周围大多数地方存在着杂散磁场，若低电平信号导线在这种磁场中运动时，导线上就会产生噪声。

(5) 机械振动

当测量系统受一定程度机械振动时,将会产生不可忽视的噪声。尤其是测量系统中的记录器,如振子光点会因振动而偏移;调频磁带记录器会因振动而产生抖动,造成干扰。

关于电磁兼容设计的内容见第3章的相关内容。

1.7 机械因素影响

电子设备在使用、运输和存放过程中,不可避免地会受到机械振动、冲击和其他形式的机械力作用,如果结构设计不当,就会导致产品的损坏或无法工作。

为了防止或减少振动与冲击对产品的影响,必须全面了解产品工作时周围的环境,正确分析产品受振动和冲击的情况,正确设计减振缓冲系统,以保证产品的性能指标。

1.7.1 机械因素

电子设备在运输和使用过程中受到的干扰机械力形式包括振动、冲击、离心力和机构运动所产生的摩擦力等。在电子设备工作的场所,这些对产品构成影响和干扰的机械力通常统称为产品的机械环境。根据机械环境对产品的作用性质,可将其分为以下四种类型。

1. 周期性振动

这是指机械力的周期性运动对产品产生的振动干扰,并引起产品做周期性往复运动。产生这一干扰的主要原因有:运载工具的发动机振动,例如,汽车、舰船、飞机和导弹等发动机工作时产生的强烈振动;产品内部的电动机、风机和泵产生的振动等。

表征周期性振动的主要参数有振动幅度和振动频率。

2. 非周期性干扰(碰撞和冲击)

这是指机械力做非周期性扰动对产品的作用,其特点是作用时间短暂,但加速度很大。根据对产品作用的频繁程度和强度大小,非周期性扰动力又可以分为以下两种。

(1) 碰撞

碰撞是产品或元件在运输和使用过程中经常遇到的一种冲击力,例如,车辆在坑洼不平道路上的行驶、飞机的降落,以及船舶的抛锚等。这种冲击作用的特点是次数较多,具有重复性,波形一般是正弦波。

(2) 冲击

冲击是产品或元件在运输和使用过程中遇到的非经常性的、非重复性的冲击力。例如,撞车或紧急刹车、舰船触礁、炸弹爆炸和产品跌落等,其特点是次数少,不经常遇到,但加速度大。例如,舰船在一般环境条件下受到的加速度冲击并不大,但在炸弹或鱼雷爆炸时,它受到的冲击加速度可达 $1\ 000\sim 5\ 000\ g$ (g 为重力加速度)。

表征碰撞和冲击的参数有波形、峰值加速度、碰撞或冲击的持续时间和碰撞次数等。

3. 离心加速度

这是指运载工具做非直线运动时产品受到的加速度。例如，飞机在急剧转弯时，除受到振动、冲击等机械力的作用外，还受到离心加速度作用。一般，受离心力作用最大的是机载电子设备，而地面或水面一切移动产品都不会超过它。

离心力所造成的破坏是严重的。例如，具有电接触点之类的电器产品，如继电器、开关等，当离心力作用方向恰好与电接触点的开、合方向一致时，若离心力大于电接触点间的接触压力，触点将自动脱开或闭合，将造成系统误动作、信号中断或电气线路断路等故障。

4. 随机振动

这是指机械力的无规则运动对电子产品产生的振动干扰。随机振动在数学分析上不能用确切的函数来表示，只能用概率和统计的方法来描述其规律。随机振动主要是由外力的随机性引起的，例如，路面的凹凸不平使汽车产生随机振动，海浪使船舶产生随机振动，火箭点火时由于燃烧不均匀引起部件的随机振动等。

1.7.2 机械因素的危害

恶劣的机械环境将直接影响到电子产品的可靠性。为评价电子产品对机械环境的承受能力，通常是根据产品的使用场合，将作用于产品或系统的机械环境条件划分成不同的严酷程度对产品进行环境试验，以检查产品或系统在机械环境中可能出现的失灵、失效以及可靠性下降。

当振动、冲击、碰撞、惯性力和离心力作用于电子产品时，将产生不良的影响，甚至产生严重的后果，主要表现在以下几个方面。

1. 机械性损坏

对冲击来说，由于在很短时间内冲击能量转化为很强的冲击力，超过产品所能承受的强度极限，从而导致元、器件或结构件破坏。如电阻器和电容器引线断裂、印制电路板导线脱落、多层印制电路板分离、结构件开裂、玻璃和陶瓷等脆性材料断裂等；如电真空器件、阻容元件、螺钉、螺母等因振动造成的短路、断裂、松落等，使产品的电性能变化，工作失效。

2. 电性能和工作点变化

如可变电容片因谐振使电容量变化、电感回路因磁芯移动而造成回路失谐、高频电路的导线因位移使电容量发生变化，以及因振动或谐振而产生机械噪声干扰电子产品正常工作等。

3. 电连接和电接触失效

由机械振动引起弹性零件变形，使电位器、波段开关和接插件等接触不良或完全开路；如使电接触元件接触不良或失效，接插件从插座中跳出，接触器、继电器接触簧片抖动或误动作等。

4. 其他

腐蚀加重、涂覆层破坏、振动冲击使晶间腐蚀和应力腐蚀加重；金属件（特别是电镀金属中）的氢脆和内应力变化加剧，油漆涂覆层剥落，使腐蚀物落入其他零部件而引起电性能变化等。

实践证明，电子产品由于振动而引起的损坏大大超过冲击所引起的损坏，而惯性力和离心力引起的损坏只有在特殊的情况下才产生。在上述机械因素的影响下，从电子产品的失效和损坏类型来看，统计资料表明，阻容元件损坏占 50%以上，电真空件损坏占 20%，紧固件连接的松脱约占 11%，电连接失效占 11%左右。为此，在结构设计和装配工艺上应采用有效的减振、缓冲措施，以提高产品工作的可靠性。

关于振动和冲击的隔离见第 5 章的相关内容。

1.8 提高电子产品可靠性的方法

评定电子产品质量的好坏，通常包括以下几个方面内容。

① 设备所能达到的技术指标。

② 对于可维修的产品，在规定的时间内，要求无故障工作时间长；而当出现故障时，要能迅速排除，恢复正常。即设备工作的有效性高。

③ 产品工作的可靠性高。这里包括：

- 在设计和制造过程中，对可靠性影响因素的控制，如元器件的正确选用、电路的形式、机械结构的合理性以及工艺的先进性等。
- 操作和管理人员的技术水平、操作的熟练程度以及维护的手段。
- 环境防护水平，如对温度、湿度、气压、振动冲击的防护，储存和运输的条件等。

很明显，产品的质量不仅体现在技术指标的先进性上，而且还与工作的可靠性以及执行其技术功能的有效性有关。

一般来说，提高产品工作可靠性的方法有下列几个方面。

① 进行环境影响因素试验。

- 稳定性试验：将产品置于人工模拟的工作环境之中，按照技术指标的要求，考核产品抵抗每一种环境影响因素的能力。如耐温、耐湿和耐压的稳定性，不渗水性，以及耐振动、冲击、加速度等各种稳定性项目的试验。
- 综合性试验：考验产品在综合因素的作用下，所能达到的性能指标。这种试验比较接近实际使用情况，所以在环境试验中占有重要地位。

应该指出，对于各种产品环境试验条件的拟定，必须根据具体的使用情况来考虑。例如，产品的循环试验，对不同的试验顺序所产生的试验结果就不一样。以气候因素的循环试验为例，其顺序为高温→潮湿→低温。产品先在烘箱中进行加温，使元器件受热干燥。然后，将其放进潮湿箱，在毛细力作用下，使元器件吸潮。最后，置于冷冻箱中冷却，由于热胀冷缩的结果，如果产品的质量不好，必将引起破裂。

② 采用备份系统（冗余系统）。把单个元件或整套系统并联起来作为备用，这是提高可靠性一种有效的手段。但这样做会使整个系统的体积、质量和费用都增加。因此只有在

较重要的产品中（如导弹制导、原子弹引信等）才采用。

③ 在电子线路上采取措施。例如，采用经过试验、可靠性高的标准线路；对分立元件进行筛选，尽量使用优选元件；元器件和组件的减载使用等。

④ 尽量简化系统或采用集成电路、大规模集成电路以提高系统的可靠性。

⑤ 设计故障指示和排除装置。

⑥ 加强对环境防护措施的研究，提高结构设计的水平。例如，采用有效的散热装置，控制元器件的温升；消减机械因素对产品造成的危害；排除内部与外部的噪声干扰；加强防腐、防潮、防霉的研究，提高结构材料使用寿命；设计实现标准化、系列化、通用化等。

电子工业出版社版权所有
盗版必究