

电子产品结构工艺基础

1.1 电子产品基础知识

电子产品是利用电子技术和电子工艺将电子元器件等组装而成的产品。例如,通信设备、电视机、计算机、电子测量仪器等。由于电子技术的飞速发展,工艺手段的不断进步,新材料的不断涌现,特别是电子产品的广泛使用,使电子产品在电路上和结构上都产生了巨大的飞跃。

1.1.1 电子产品的特点

1) 集成度高

电子产品具有“轻、薄、短、小”的特点,它在知识、技术、信息的密集程度上高于其他产品。知识和技术的密集,导致物化劳动的密集。

2) 使用广泛

目前电子产品已广泛应用于国防、科技、国民经济各个部门以及人民生活的各个领域。

3) 可靠性要求高

电子产品的可靠性要求高。例如航天电子设备,在十分复杂的组成中,若某一个元器件或连接点发生故障,就会影响正常工作,甚至会导致导弹、运载火箭和卫星的飞行失控。

4) 精度要求高

例如卫星通信地面站要求直径 30m 的抛物面天线自动跟踪数万千米高空的人造卫星不发生偏差。

5) 结构复杂

电子产品不但具有“轻、薄、短、小”的特点,而且,功能多、用途广。比如,现在的手机,不但外形美观、图像清晰、声音悦耳,同时还有拍摄、播放音乐、可视等多种功能。因此,其内部结构和电路也非常复杂。

1.1.2 电子产品的工作环境

电子产品所处的环境多种多样,大体上可分为自然环境、工业环境和特殊使用环境。除自然环境之外,工业环境和特殊使用环境一般是可人为制造和改变的,故这类环境也称为诱发环境。

环境因素是造成电子产品发生故障的主要因素,国外通过进行故障剖析,结果发现,50%以上的故障是由环境因素所致;而温度、湿度、震动三项环境造成的故障率则高达 44%。

下面对电子产品所处的主要环境，即气候环境、机械环境和电磁环境进行介绍。

1. 气候环境

气候环境主要包括温度、气压、盐雾、大气污染、灰尘砂粒及日照等因素。它们对产品的影响主要表现在使电气性能下降，温度升得过高，运动部位不灵活，结构损坏，甚至不能正常工作。为了减少和防止这些不良影响，必须采取散热措施，限制电子产品工作时的温升，保证在最高工作温度条件下，电子产品内部的元器件承受的温度不超过其最高极限温度，并要求电子产品耐受高、低温交变循环时的冷热冲击。同时采取各种防护措施，防止潮湿、盐雾、大气污染等气候因素对电子产品内元器件及零部件的侵蚀和危害，延长其工作寿命。

2. 机械环境

机械环境是指电子产品在使用和运输过程中，所受到的震动、冲击、离心加速度等机械作用。它对电子产品的影响主要是：元器件损坏失效或电参数改变；结构件断裂或变形过大等。为了防止机械作用对电子产品产生不良影响，必须采取减振缓冲措施，确保产品内的电子元器件和机械零部件在受到外界强烈震动和冲击下不致变形和损坏。提高电子产品的耐冲击、耐震动力，保证电子产品的可靠性。

3. 电磁环境

电子产品工作的周围空间充满了由于各种原因所产生的电磁波，造成对电子产品工作时的外部及内部干扰。电磁波干扰的存在，使产品输出噪声增大，工作不稳定，甚至完全不能工作。

为了保证产品在电磁干扰的环境中能正常工作，要求采取各种屏蔽措施，提高产品的抗电磁干扰能力。

1.1.3 电子产品的生产要求

任何电子产品在它的研制成功之后都要投入生产。生产厂家的设备情况，技术和工艺水平，生产能力和生产周期，以及生产管理水平等因素都属于生产条件。

生产条件对产品的要求，一般有以下几个方面：

生产产品时使用的零件、部件、元器件的品种和规格的量应尽可能地减少，尽量使用由专业厂生产的通用零件、部件或产品。因为这样便于生产管理，有利于提高产品质量并降低成本。

生产产品时所用的机械零部件，必须具有较好的结构工艺性，能够采用先进的工艺方法和流程。使得原材料消耗低，加工工时短。例如零件的结构、尺寸和形状便于实现工序自动化；以无屑加工代替切削加工，提高冲制件、压塑件的数量和比例等。

产品中的零件、部件、元器件及其各种技术参数、形状、尺寸等都应最大限度地标准化。还应尽可能用生产厂以前曾经生产过的零部件，充分利用生产厂的先进经验，使产品具有继承性和兼容性。

产品所使用的原材料，其品种、规格越少越好，应尽可能少用或不用贵重材料，立足于使用国产材料和来源多、价格低的材料。

产品（含零部件）的加工精度和技术条件要求要相适应，不允许无根据地追求高精度。在满足产品性能指标的前提下，其精度等级应尽可能低。装配也应简易化，尽量不搞造

配和修配,力求减少人工装配,便于生产自动化和流水生产。

1.1.4 电子产品的使用要求

1. 对产品体积与重量的要求

(1) 对产品的体积与重量的要求主要有四方面的因素:

用途因素。由于电子产品的用途非常广泛,各种不同用途对体积、重量提出了不同的要求。如军用电子产品,减小其体积、重量就直接影响着部队的战斗力和装备使用的灵活性。

运载因素。各种运载工具如汽车、坦克、飞机、舰船等,由于安装各种产品的空间有限和操作控制的需要,对电子产品的体积重量也有严格的要求。

机械负荷因素。电子产品工作时,会受到各种机械因素的影响。为了减少冲击、碰撞、震动和加速度的破坏作用,减少其体积、重量会收到良好的效果。根据牛顿定律 $F=ma$,当重量 mg 减少时其质量 m 也将减小,如果施加的加速度 a 一定,则对产品的破坏力 F 就会减小。

经济因素。为了节省原材料消耗的生产成本,应力求降低电子产品的体积和重量,这个道理是显而易见的。对于生产批量很大的产品,即使产品的体积、重量降低很小一点,但批量生产中所降低的成本则是可观的。

(2) 缩小体积产生的矛盾。

现代电子产品都希望缩小体积,提高紧凑性,但追求紧凑性会产生一系列矛盾,这主要表现在以下几个方面。

产品升温限制。缩小电子产品体积,提高紧凑性,将使电子产品的单位体积的发热量增加,散热能力变差,这是绝大多数产品(尤其是大功率产品)缩小体积时遇到的最大困难。

分布参数限制。随着紧凑性提高,元器件间距减小,会导致电子产品电磁兼容性能下降,尤其是超高频和高压电子产品,由于分布电容增大,容易产生自激和脉冲波形变形。由于元器件间距减小,还容易产生短路和击穿现象。

装配和维修困难。电子产品体积缩小,紧凑性提高,给生产时的装配和使用时的维护、维修带来一定困难。

产品成本增加。紧凑性提高,要求整机结构有较高的零件加工精度和装配精度,因而提高了产品成本。

2. 操纵与维护人员对电子产品的要求

(1) 操纵人员对电子产品的要求。

为操纵人员创造良好的工作条件。例如要求产品使用中不产生令人厌恶的噪音,且色彩调和,给人以好感。安装位置要适当,令操纵人员舒适、精神安宁、注意力集中,从而提高工作质量。

产品操纵简单,让操纵人员能尽快熟练掌握操纵技术。

产品安全可靠,有保险装置。当操纵人员发生误操作时,不会损坏产品,更不能危及人身安全。

控制机构轻便,尽可能减少操纵人员的体力消耗。读数指示系统清晰,便于观察且长时间观察不易疲劳,也不损伤视力。

(2) 维护人员对电子产品的要求。

在发生故障时,便于打开且能迅速更换故障件。如采用插入式和折叠式结构、快速

装拆结构等。

可调元件、测试点应布置在产品的同一面；需经常更换的元器件以及易损元件应布置在易于拆装的部位；对于电路板应尽可能采用插座与系统连接。

元器件的组装密度不宜过大，保证元器件间有足够的空间，便于拆装和维修。

产品应具有过载保护装置（如过电流、过电压保护），危险和高压处应有警告标志和自动安全保护装置（如高压自动断路门开关）等，以确保维修安全。

产品最好具备监测装置和故障预报装置，能使操纵人员尽早地发现故障或预测失效元器件并及时更换维修，以缩短维修时间并防止大故障的出现。

1.2 电子产品的可靠性

1.2.1 可靠性概述

1. 可靠性的概念

可靠性是指产品在规定的时间内和规定的条件下，完成规定功能的能力。在这里，产品是一个非限定性的术语，既可以是一个装备系统，也可以是组成系统中的某个部件乃至元器件等。可靠性是产品质量的一个重要方面，通常所说的产品质量好，包含两层意思：一是达到预期的技术指标；二是在使用过程中很可靠。如果产品的技术指标先进，但可靠性差，就会失去实际使用价值。

1) 规定的功能

产品的可靠性是以完成“规定的功能”来衡量的。一个产品往往具有若干项规定的功能，这里所说的完成规定的功能指全部，而不是其中一部分。产品只有完成规定的全部功能，才能被认为可靠。

2) 规定的时间

规定的时间是可靠性定义的核心，因为离开时间就无可靠性可言，而规定时间的长短又随产品对象不同和使用目的不同而异。一般来说，产品经过老练后，有一个较长的稳定使用期，以后随着时间的延长可靠性下降，时间越长，可靠性越低。

3) 规定的条件

规定的条件是产品完成规定功能的约束条件。它包括使用时的应力条件（电气的和机械的）、工作环境和维护条件、储存条件等。规定条件不同，产品的可靠性也不同。例如，同一个半导体器件，使用时的输出功率不同，其可靠性也不同。一般的规律是使用输出功率越小，其可靠性越高。又如，同一台电子产品在实验使用和野外使用，其可靠性相差很大。一般来说，环境条件越恶劣，产品的可靠性越低。

产品在工作中常常因各种偶然因素，如元器件因突然损坏，应力（电负荷、温度、机械影响等）突然改变，维护或使用不当等的影响而失效。由于这些失效的原因具有偶然性，所以对某一个具体的产品，在规定的条件和时间内能否完成规定的功能，是无法预先知道的，这是一个随机事件。大量随机事件中，包含着一定的规律，随机事件发生的可能性大小可以用概率来表示，即我们虽无法准确地知道产品出现失效的时刻，但可以求出产品在规定的条件和时间内完成规定功能的概率，所以，产品的可靠性可以用概率的形式来表示。

2. 可靠性的主要指标

1) 可靠度 (正常工作概率)

可靠度指产品在规定时间内, 完成规定功能的概率, 通常用 $R(t)$ 表示。

$$R(t) = \frac{N-n}{N} \times 100\%$$

式中 $R(t)$ ——产品在时间 t 内正常工作的概率;

N ——试验样品数;

n ——规定试验时间 t 内故障数。

试验样品按规定抽取, 不可能无穷多, 一般有足够的数量即可。其物理意义是: 在试验总数中扣除产品故障数, 亦即到某个试验期时, 仍然完好的产品数与试验产品总数的比例, 即完成产品 (不失效) 的概率。由于 $R(t)$ 是一个概率, 其值为

$$0 \leq R(t) \leq 1$$

在试验开始时, $R(0)=1$, 产品全部完好, 随着试验期的延长, $R(t) < 1$, 即出现了失效产品。试验一直延续下去, 直到 $R(\infty)=0$, 产品全部到达寿命终止期。因此, $R(t)$ 越接近于 1, 表示可靠度越大。

2) 故障率

故障率是指产品在规定条件下和规定时间内, 失去规定功能的概率。通常用 $F(t)$ 表示。它与可靠度是对立事件。二者的关系是:

$$F(t) + R(t) = 1$$

因此, $F(t)$ 越接近于 1, 表示产品故障率越高。

3) 平均寿命

对于不可修复和可修复产品, 其平均寿命有不同含义。对不可修复的产品, 它是指产品失效前的工作或储存时间, 记做 MTTF (为 Mean Time To Failure 的缩写)。

$$MTTF = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i$$

式中 N ——试验样品数;

t_i ——第 i 个产品无故障工作时间。

对可修复的产品而言, 平均寿命是指相邻两次故障间隔的工作时间的平均值, 即平均无故障工作时间, 记做 MTBF (为 Mean Time Between Failure 的缩写)。

$$MTBF = \frac{T}{n}$$

式中 T ——总运行时间;

n ——故障的次数。

4) 失效率 (瞬时失效率)

失效率是指产品工作到 t 时刻后的一个单位时间 (t 到 $t+1$) 内的失效数与在 t 时刻尚能正常工作的产品数之比, 用 $\lambda(t)$ 表示, 即

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{[N - n(t)] \Delta t}$$

式中 N ——试验样品数;

$n(t)$ ——到时刻 t 时的失效数;

$n(t+\Delta t)$ —— t 时刻后, 在 Δt 时间间隔内失效数。

失效率越低, 产品的可靠性越高, $\lambda(t)$ 用单位时间的百分数表示。常用 100 万个元件工作 1000 小时后, 出现一个失效元件, 称为 1 菲特。

3. 元器件可靠性

为了对电子产品或系统的可靠性进行分析研究, 必须研究构成电子产品或系统的元器件的可靠性。

元器件的可靠性通常用经过大量试验而统计出来的失效率来表征。实践发现, 普通元器件和半导体元器件的失效规律有相同之处, 但也不完全相同。了解元器件失效规律, 对于正确使用元器件, 从而提高产品可靠性是很有益的。

1) 普通元器件的失效规律

电阻器、电容器、继电器等普通元器件, 在大量使用后, 发现它们有相似的失效规律, 如图 1.2.1 所示为典型普通元器件的失效率与工作时间的关系。这条关系曲线就是通常所说的船形或浴盆曲线。

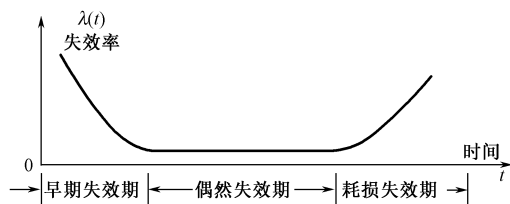


图 1.2.1 典型普通元器件失效曲线

使其早期失效大大降低, 以保证筛选后的元器件有较低的失效率。

偶然失效期：产品因偶然因素发生的失效叫偶然失效。产品在经过早期失效期后, 元器件将进入正常使用阶段, 其失效率会显著地迅速降低, 这个阶段失效主要表现为偶然失效的时期叫偶然失效期, 也称随机失效期。其特点是失效率高而基本稳定, 可以认为失效率是一个常数, 与时间无关。偶然失效期时间较长, 是元器件的使用寿命期。正规化的生产厂商都要采用各种试验手段, 把元器件的早期失效消灭在产品出厂之前, 并把它们在正常使用阶段的失效率作为向用户提供的一项主要指标。

耗损失效期：产品在使用的后期, 由于老化、疲劳、耗损等原因引起的失效叫耗损失效。发生耗损失效的时间叫耗损失效期, 又叫老化失效期, 其特点是失效率随时间迅速增加。到了这个时期, 大部分元器件都开始失效, 产品迅速报废。在电子产品中, 所有元器件和组件都不能工作于耗损失效期。

2) 半导体器件的失效规律

半导体器件的寿命长、稳定可靠, 所以其失效特性有特殊的地方, 如图 1.2.2 所示。从图中可以看出半导体器件的早期失效期和普通元器件相同, 失效率随时间增加而迅速下降。其失效原因通常由于原材料的缺陷和工艺因素所引起。在偶然失效期, 其失效率高且有随时间递减的趋势, 这一阶段的失效率近似为常数, 这是半导体器件的稳定工作的时期。半导体器件没有耗损失效期, 即没有失效率随时间而增大的耗损失效阶段, 这是其特

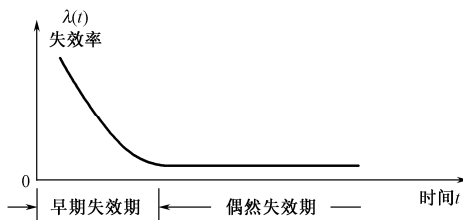


图 1.2.2 典型半导体器件失效曲线

殊性所在。类似半导体器件的失效规律的元器件还有固体钽电解电容器。

3) 元器件的可靠性计算

一般元器件的可靠性通常用经过大量试验统计得出的失效率来表征。由于元器件都工作在偶然失效期,其失效率为常数,即

$$\lambda(t)=\lambda=\text{常数}$$

则可靠性用可靠度 $R(t)$ 表示为

$$R(t)=e^{-\lambda t}$$

上式说明了正常工作概率(可靠度)在时间上是按指数衰减的。

4) 使用条件对元器件可靠性的影响

元器件的使用条件包括工作环境条件和负荷条件。工作环境条件不同元器件的失效率变化很大,有时可相差几百倍,一般地说,所处的条件越恶劣,其失效率越大。

4. 产品或系统的可靠性

一个产品或复杂的系统可以看成是由若干个子系统或部件组成的,而每个子系统或部件又由许多元器件组成。我们可根据元器件的可靠性求得系统的可靠性,也可根据系统的可靠性要求分配各子系统的可靠性。

系统和子系统之间的可靠性关系可以分为串联系统和冗余系统(备份系统)两大类。

1) 串联系统

串联系统是由所有的子系统串联而成的,如图 1.2.3 所示。它的特点是:只要其中一个失效,系统就失效。如果这些子系统是相互独立的,即某一子系统的失效对其他子系统没有影响,根据概率论的乘法定理,串联系统的可靠性等于各子系统可靠性的乘积。

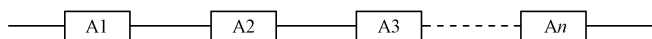


图 1.2.3 串联系统

2) 冗余系统

冗余系统也称为备份系统,采用冗余系统可提高可靠性水平,但增加了系统的体积和重量,增加成本和复杂性,一般只在极端重要的场合才使用,或者在元器件可靠性满足不了系统的要求时采用。

冗余系统有三种形式:并联系统、待机系统和表决系统,如图 1.2.4 所示。

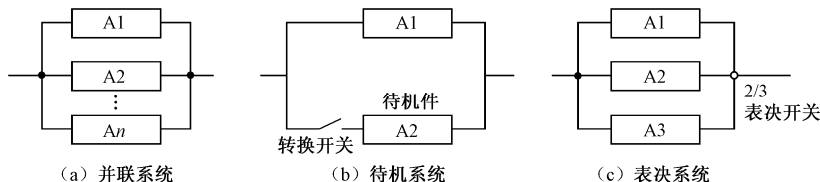


图 1.2.4 冗余系统

并联系统是最常用的冗余系统,如图 1.2.4(a)所示。由若干子系统(或元件) A_1 、 A_2 、...、 A_n 并联组成系统 C。它的特点是:只要系统中任一子系统(或元件)可靠,则系统可靠,只有所有子系统(或元件)全部失效时,系统才失效。

根据概率论的加法定理,可以得到两个子系统(或元件)并联的可靠度为:

$$R(C)=R(A1)+R(A2)-R(A1 \cdot A2)$$

待机系统如图 1.2.4 (b) 所示, 这种系统中的备份系统 (或元件) 在平时处于非工作状态, 一旦主要子系统 (或元件) 出现故障后, 备份子系统 (或元件) 才投入工作。这种系统一般要装有失效报告装置和开关转换装置, 系统发生故障时才能自动转换备份子系统 (或元件)。

表决系统如图 1.2.4 (c) 所示, 这是一种比较特殊的冗余系统。图示为 2/3 表决系统, 三个相同的子系统或元件 (A1、A2、A3) 并接于 2/3 表决开关上, A1、A2、A3 同时将输出信号加给 2/3 表决开关, 当表决开关接收两个或三个信号时, 系统就能可靠地工作, 因此, 当任一个子系统 (或元件) 发生故障时, 系统仍能可靠地工作。

5. 可靠性与经济性关系

为了提高产品的可靠性, 就要在材料、工艺、设备和管理等方面采取相应措施, 这就导致生产和科研费用的增加, 但使用维护费用却随着可靠性的提高而降低, 因而总的费用却不一定增加。如果可靠性指标定得适当, 总费用可达最低水平。反之, 若可靠性指标低, 就必须增大使用和维修费用, 总费用可增加, 使经济性变差。它们的相互关系可参见图 1.2.5 所示。

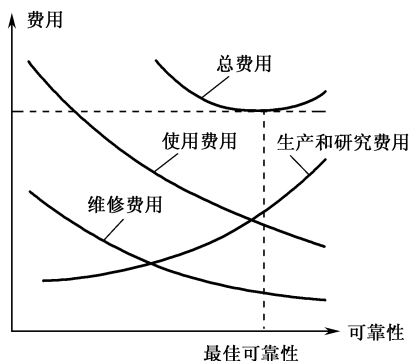


图 1.2.5 可靠性与经济性的关系曲线

1.2.2 提高电子产品可靠性的措施

1. 从产品设计制造方面提高可靠性

1) 简化设计方案

从系统可靠性的角度来看, 系统愈复杂, 所用的元器件愈多, 则系统的可靠性就愈低。因此, 在满足系统性能要求的前提下, 应尽可能简化产品的设计方案。

2) 正确选用元器件

电子产品的硬件故障大都直接以元器件的各种损坏或故障的方式表现出来。一方面是由于元器件本身的缺陷造成的, 而另一方面是对元器件选用不当所致。因此产品在生产中要正确选用元器件, 选用元器件时应充分注意下列原则:

(1) 根据电路性能的要求和工作环境条件选用合适的元器件, 使用条件不得超过元器件电参数的额定值和相应的环境条件并留有足够的富余量。

(2) 尽可能压缩元器件的品种和规格数, 提高它们的复用率。

(3) 除特殊情况外, 所有电子元器件都应经过筛选后, 才能用到产品中去。

(4) 仔细分析比较同类元器件在品种规格、型号和制造厂商之间的差异, 择优选用。

3) 合理使用元器件

只有合理使用元器件, 才能保证固有可靠性。元器件的工作电压、电流不能超额使用, 应按规范降额使用。尽量防止元器件受到电冲击, 装配时严格执行工艺规程, 免受损伤。

4) 电子产品的合理设计

(1) 合理设计电路, 尽可能选用先进而成熟的电路, 减少元器件的品种和数量, 多用优选的和标准的元器件, 少用可调元件。采用自动检测与保护电路。为便于排除故障与维修, 在设计时可考虑适当的监测点, 以利查找与修复。

(2) 合理地进行结构设计和严格生产工艺。产品在进行结构设计时,要充分考虑当前电子工业发展中的新工艺、新材料、新技术,尽可能采用生产中较为成熟的结构形式,有良好的散热、屏蔽及三防措施,防振结构要牢靠,传动机构灵活、方便、可靠,整机布局合理,便于装配、调试和检修。

2. 从使用方面提高可靠性

(1) 合理储存和保管。产品的贮存和运输必须按照规定的条件执行,不然的话,会在贮存和运输的过程中受到损伤。保管也是如此,必须按照规定的范围保管,如温度、湿度等都要保持在一定范围之内。

(2) 合理使用。在使用产品之前必须认真阅读说明书,按规定条件操作。

(3) 定期检验和维修。定期检验可免除仪器在不正常或不符合技术指标时给使用造成差错,也可避免产品长期带病工作以致造成严重损伤。

1.3 电子产品的防护

1.3.1 气候因素的防护

由于电子产品使用的范围非常广泛,其工作环境和条件也就极为复杂多样,它要受到各种环境和气候条件的影响。对于气候因素而言,主要是受潮湿、盐雾、霉菌的影响。所以对气候因素的防护也主要是防潮湿、防盐雾、防霉菌,俗称为三防。

1. 潮湿的防护

1) 吸湿机理

空气中的潮湿是由于水在热的作用下蒸发形成的水蒸汽所造成的,随着温度的升高,水蒸汽逐渐增多直到饱和状态。当水蒸汽过饱和时,它将凝聚成小水滴。处在潮湿中的物体,由于空气中水蒸汽的分子运动,必然有一部分水分子吸附在物体表面上,形成一层水膜,随着空气相对湿度的增高,水膜厚度也增大。如当相对湿度达65%时,处于空气中的一切物体表面都会覆盖着一层 $0.001\mu\text{m} \sim 0.01\mu\text{m}$ 的水膜;当相对湿度增大到90%时,水膜厚度可达 $10\mu\text{m}$ 。一切物体的吸湿,都是由这层水膜引起的。

物体的吸湿可以有以下四种形式。

(1) 扩散。在高湿环境中,由于物体内部和周围环境的水汽压力差较大,水分子在压力差的作用下,向物体内部扩散,使水分子进入物体内部。扩散随着温度升高而加剧。

(2) 吸收。有些材料本身具有缝隙和毛细孔,如高分子塑料的分子间,均存在一定的空隙,纤维材料则有众多的毛细孔,当这种材料处于潮湿空气中时,材料表面的水膜分子由于毛细作用,进入材料内部。

扩散和吸收使水分子进入材料内部,因而会使材料的体积电阻率下降。某些非金属材料分子间的亲和力小于对水分子的亲和力,当水分子进入材料内部时,将在材料内部产生溶解作用,使材料组织发生变化并开始膨胀。

(3) 吸附。由于物体表面的分子对水分子具有吸引力。当物体处于潮湿空气中时,水分子就会吸附到物体表面上,形成一层水膜。含有碱及碱土金属离子、非金属化合物离子以及离子晶体化的固体材料,对水分子有较大的吸附能力。

(4) 凝露。当物体表面温度低于周围空气的露点时, 空气中的水蒸汽便会在物体表面上凝结成水珠, 在物体表面上形成一层很厚的水膜。在高温、低温交替循环下, 可能造成材料内部的内凝露, 严重时会使材料内部积水。

吸附和凝露会使材料表面形成一层水膜, 因而使材料的表面电阻率下降。材料表面能否被水润湿, 对材料表面电阻率有很大影响, 一般来说, 材料表面被水润湿的程度越大, 其表面电阻下降也越大。材料被水润湿的程度可用润湿角 α 来表征, 如图 1.3.1 所示。

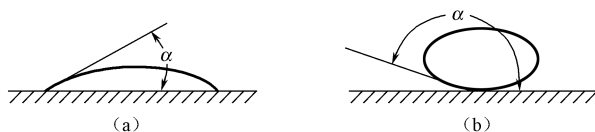


图 1.3.1 固体表面水的润湿角

当润湿角 $\alpha < 90^\circ$ 时, 材料可被认为是亲水性的, 如图 1.3.1 (a) 所示, α 角越小, 表示物体的亲水性越强; 当润湿角 $\alpha > 90^\circ$ 时, 材料可被认为是憎水性的, 如图 1.3.1 (b) 所示, α 角越大, 表示物体憎水性越强。

亲水性的物体容易使水在其表面上形成一层水膜, 水膜使物体润湿, 并使水沿着物体表面向内部渗入。憎水性物体使水在其表面上收缩成不相连的小水珠, 物体表面不易被润湿, 水分子也不易渗入物体内部。

扩散、吸收、吸附、凝露等四种吸湿机理可能同时出现, 也可能出现其中某一两种, 凡是以这样方式吸湿的过程, 都称为潮湿直接侵入, 这是最基本的吸湿方式。此外还有另一种吸湿方式, 即“呼吸”方式, 它是指在温度交替变化和具有一定的气压差情况下, 潮湿空气进入保护层、容器、软管及有缺陷的密封等处。“呼吸”吸湿是一个在短时间内不易为人们所察觉的缓慢过程, 对于要求较高的防潮密封处, “呼吸”作用不容忽视。

2) 潮湿对电子产品的影响

(1) 潮湿引起金属腐蚀。金属的腐蚀是指金属或合金跟周围接触到的介质(气体或液体)进行化学反应而遭到破坏腐蚀的过程。当金属处于潮湿的环境中, 金属表面会形成一层水膜, 水膜溶解空气中所含的二氧化碳、硫化氢、氧化氮及可溶性盐类而成为电解质溶液膜, 金属就在这层液膜作用下发生着腐蚀。当金属零件发生腐蚀后, 不仅使零件表面遭到损害, 而且会使零件的机械强度下降, 影响电器性能, 使产品不能可靠工作。

(2) 潮湿使非金属材料性能变坏、失效。一些吸湿性较大的材料, 如纸制品、电木等, 吸湿后发生溶胀、变形、强度降低乃至产生机械性破损。此外, 水分附着在材料表面或渗入内部, 使电导率增加, 介质损耗增大, 绝缘性能降低。

(3) 影响电气参数。水分是一种极性介质, 能够改变电气元件的参数。例如水膜附着在电阻器上, 会形成漏电通路, 相当于在电阻器上并联一可变电阻。

(4) 产生霉菌。潮湿有利于霉菌的生长与繁殖。

3) 防潮湿措施

防潮湿措施有憎水处理、浸渍、蘸渍、灌封、密封等方法。

(1) 憎水处理。亲水物质的吸湿性和透湿性大, 可以通过憎水处理改变其亲水性, 使它的吸湿性和透湿性降低。如用硅有机化合物蒸汽处理亲水物质, 可以提高憎水能力。

(2) 浸渍。浸渍是将被处理的元件或材料浸入不吸湿的绝缘液中, 经过一段时间, 使绝缘液进入材料的小孔、毛细管、缝隙和结构间的空隙, 从而提高了元件材料的防潮湿性能。

以及其他性能。

(3) 蘸渍。蘸渍是把被处理的材料或元件短时间(几秒钟)地浸在绝缘液中,使材料或元件表面形成一层薄绝缘膜,也可以用涂覆的办法在材料或元件表面上涂上一层绝缘液膜。蘸渍和浸渍的区别在于:蘸渍只是在材料表面上形成一层防护性绝缘膜,而浸渍则是将绝缘液深入到材料内部。

(4) 灌封。在元器件本身或元器件与外壳间的空间或引脚孔中,注入加热熔化后的有机绝缘材料,冷却后自行固化封闭。此种工艺叫灌封或灌注。

灌封的防潮性能是由灌封材料或混合物的物理性、灌注层厚度、通过灌注层的引脚数量等因素决定的。由于灌封材料与引脚间因线膨胀系数的差异形成的毛细管会降低防潮性能,因此可将引脚做成螺旋或多次弯曲形状,以延长潮气沿毛细管侵入的路程,从而提高灌封的防潮性能。

(5) 密封。密封是防止受潮气长时期影响的最有效方法。密封就是将零件、元件、部件或一些复杂的装置,甚至整机安装在不透气的密封盒中,这种方法属于机械防潮。密封不仅可以防潮,而且还可以防水、防低气压、防盐雾、防霉、防灰尘等。

作为防潮湿的辅助手段,有时可对某些设备用定期通电加热的方法来驱除潮气(比如家用电器不能长期放置不用,否则会由于受潮引起金属腐蚀、电路漏电、短路而造成损坏,所以应该经常通电加热防潮),也可以用吸潮剂吸掉潮气。常用硅胶作为吸潮剂,它具有很大的吸水性,可吸收相当于它本身重量30%的水分,硅胶吸水达到饱和时呈乳白色或玉色,可在120~150℃的烘箱中烘干后继续使用。但在货物包装中却常用廉价的生石灰作为吸潮剂。

4) 金属的防护方法

既然金属腐蚀是由于金属跟周围的物质发生化学反应所引起的腐蚀,那么,金属的防护当然也必需从金属和周围物质两方面来考虑。目前常用的方法有如下。

(1) 改变金属的内部组织结构。例如,把铬、镍等加入普通钢里制成的不锈钢,就大大地增加了钢铁对各种侵蚀的抵抗力。

(2) 表面覆盖。表面覆盖是最常用的金属防护方法,表面覆盖就是在零件的表面覆盖致密的金属或非金属覆盖层。表面覆盖法既可起到保护金属不受腐蚀的作用,又可对零件的表面进行装饰,还能满足零件的一些特殊要求,如有些表面覆盖可以提高元器件及设备的电气性能。表面覆盖层按其性质可分为以下三类:金属覆盖层、化学覆盖层、涂料覆盖层。

金属覆盖层:金属覆盖层是用电镀、化学镀、喷镀和热浸等方法,在本体金属表面镀上一层有良好的化学稳定性(即抗腐蚀性)和某些物理性能(如导电性、耐磨性)的金属。常用做覆盖层的金属有锌、镉、铜、铬、镍、锡、铅、铝、银、金、铂、钯、铑等及其合金。

化学覆盖层:化学覆盖层是用化学或电化学的方法在金属表面形成一层致密而稳定的金属化合物。化学覆盖层有发蓝(黑)、氧化、钝化、阳极氧化和磷化等。

发蓝(发黑):在黑色金属上用化学方法形成一层氧化膜称为发蓝。它主要由磁性氧化铁所组成,一般呈深蓝色(发蓝)和黑色(发黑)。其氧化膜色泽美观,有较大的弹性及润滑性,但厚度较薄,抗蚀能力差。多用于不能电镀和油漆的零件,以及装饰性保护层。发蓝时,如在氧化后用肥皂溶液浸渍和涂以中性油,可大大增强氧化膜的抗蚀能力。

氧化:氧化多用于铝及铝合金和镁合金。用化学法或电化学法可在铝及铝合金零件表面形成氧化铝(Al_2O_3)薄膜,其质地致密并有一定的硬度,并且与基体金属结合很牢固,有较好的防护性能。

用电化学法在铝及铝合金零件上获得氧化膜,因零件放在阳极上故称阳极氧化。阳极氧化所得的氧化膜较厚,比用化学法所得的氧化膜有更好的防腐能力,故应用较广。

钝化:镀锌零件和铜及铜合金零件在铬酸或铬酸盐溶液中处理后,使其表面覆盖一层稳定性较高的铬酸盐膜。

磷化:把钢铁零件放入磷酸盐溶液中进行浸泡,使金属表面获得一层不溶于水的磷酸盐薄膜,这一过程称为磷化。

涂料覆盖层:涂料覆盖层是在金属表面涂油漆、矿物性油脂或覆盖搪瓷、塑料等物质。

涂油漆是一种对金属和非金属制品进行防腐保护和装饰的最简便的方法。金属表面以涂矿物性油脂来进行防护也是常见的,如枪炮、机器就是涂矿物性油脂。至于覆盖搪瓷、塑料,在日常用具中就更为普遍了。

(3) 电化学保护法。金属的腐蚀其主要是电化学腐蚀,所以,只要能够把引起金属电化学腐蚀的原电池反应消除,金属的腐蚀自然就可以防止了。电化学保护法可分为外加电流的阴极保护法和牺牲阳极的阴极保护法。

外加电流的阴极保护法。是在外加直流电压的情况下,把需要保护的金属接电源的负极(阴极),而用不溶性的物质接正极(阳极),两者都放在电解质溶液里,接上外加直流电源。

通电后,大量电子被强制流向被保护的金属,使金属表面产生负电荷(电子)的积累。由于金属氧化所生成的电子流是跟外加电源的电流的方向是相反的,只要外加足够的电压,金属腐蚀而产生的原电池电流就不能被电子输送,因而腐蚀就不能发生。这样就抑制了金属失去电子,从而防止了金属的腐蚀。

牺牲阳极的阴极保护法。牺牲阳极的阴极保护法是在要求保护的金属上连结一种金属电位更低(也即更活泼,更易失去电子)的金属或合金,当两者处于电解质溶液中时,发生腐蚀的将是电位低的金属,而电位高的(要求保护的)金属得到了保护。这是以牺牲电位低的金属作为代价来实现金属保护的方法叫做牺牲阳极的阴极保护法。通常在轮船的尾部和在船壳的水线以下部分,装上一定数量的锌块,热水器安装镁阳极来防止钢铁等金属的腐蚀,就是应用的这种方法。

2. 盐雾的防护

1) 盐雾的形成及危害

由于海水被海风(包括巨大的台风)吹卷及海浪对海岸冲击时飞溅的海水微滴被卷入空中,与潮湿大气结合形成带盐分的雾滴,称为盐雾。故盐雾只存在于海上和沿海地区离海岸线较近的大气中。盐雾的危害性主要是对金属及各种金属镀层的强烈腐蚀。例如钢铁制品在盐雾作用下最容易生锈,其使用寿命要比无盐雾作用时短得多。此外,盐雾会使电子产品内的零部件、元器件表面上蒸发析出固体结晶盐粒,会引起绝缘强度下降,造成短路、漏电,很细的结晶盐粒如侵入机构的运动部分会加速磨损。

盐雾对金属的腐蚀本质,是含氯化钠的微小水滴凝聚在金属表面形成一层含有氯离子和钠离子的水膜,这是一层中性的强电介质。由于氯离子本身易得到电子(活泼性大),且其半径很小,它能腐蚀许多较紧密的在普通情况下相当稳定的金属氧化膜,如铝制品和不锈钢等。

2) 防护方法

防盐雾的方法主要是在一般电镀的基础上进行加工,即严格电镀工艺保证镀层厚度,选

择适当的镀层种类。

(1) 严格电镀工艺。工件镀前的清洗工作非常重要,如在电镀前的工件上存在锈蚀产物、油污、污物等未彻底清洗干净,将影响镀层与金属基体的结合力,结果便会出现镀层变暗、起泡和存在针孔等现象。

(2) 保证电镀层的厚度符合规定。防盐雾与防潮湿本质上都是减少或避免金属制品遭到腐蚀,要达到这个目的,就要求具有保护性的电镀层有一定的厚度。因为无论哪一种电镀层,由于电镀过程中,随着镀层金属离子得到电子,沉积在镀件表面的同时,或多或少也有氢离子的得到电子 $2\text{H}^+ + 2\text{e} \rightarrow \text{H}_2 \uparrow$ (逸出) 等因素,所以各种镀层均会有不同程度的孔隙率。当然,镀层越厚则孔隙率越小。

(3) 镀层种类的选择。不同的镀层材料,显然抵抗盐雾腐蚀的能力不一样,价格也大不相同。比如通常在钢铁表面镀锌、镀镉,镀铅锡合金、镀镍钴合金等。但在一些具有特殊要求的高精尖的元器件与零部件上,采用镀铂、镀钯、镀铑等措施。铂、钯、铑化学性质极为稳定,它们的镀层除了具有极高的抵抗各种腐蚀的能力外,而且具有某些特殊的物理性能。但这些材料来源稀少,价格昂贵,只在很特殊的要求下才应用。

3. 霉菌的防护

1) 霉菌的危害性

霉菌属于细菌中的一个类别,它生长在土壤里,并在多种非金属材料(包括一切有机物和一些无机物)的表面上生长。霉菌的繁殖是分裂繁殖,在适宜的气候环境下,每 15~20min 即可分裂一次。霉菌所分裂出来的孢子很小($1\mu\text{m}$ 以下),很易于随空气侵入产品,产品内所有的零件都可能受到霉菌孢子的污染。孢子也可能附在手上或附着在手留下的湿印上。此外各种昆虫也都是传播孢子的媒介。

霉菌是靠自身分泌的酶在潮湿条件下分解有机物而获取养料的,这个分解过程就是霉菌侵蚀与破坏材料的根本原因。

霉菌侵蚀的结果,一般是降低材料的机械强度,严重时可使材料腐烂脆裂。另外可改变材料的物理性能与电性能,例如霉菌可侵蚀光学玻璃的表面,使之变得不透明;侵蚀金属或金属镀层表面,使之表面被污染甚至引起腐蚀。许多有机绝缘材料霉菌侵蚀后,由于分泌出酸性物,而使绝缘电阻大幅度降低。霉菌的侵蚀尤其易使某些灵敏的电子线路的频率、阻抗特性发生恶劣变化。

此外,霉菌还会破坏元件和设备的外观,以及给人的身体造成毒害作用。

2) 防护方法

防霉菌可从霉菌的生存特点出发有针对性地防护,只要破坏引起霉菌腐蚀的任何一个条件,就能阻止霉菌的生长,达到防霉的目的。

(1) 控制环境条件。绝大部分霉菌滋生的最适当气候条件是:温度 $20\sim 30^\circ\text{C}$;相对湿度高于 70%。如果采取措施把温度降低到 10°C 以下,绝大部分霉菌就无法生长。例如,在生产车间、仓库采用空调保持良好通风,就能有效地阻止霉菌的滋生;用足够的紫外线辐射、日光照射,以及定期对电子产品通电增温,也能有效地阻止霉菌生长。

(2) 隔离霉菌与营养物质。

密封防霉。将设备严格密封,并加入干燥剂,使其内部空气干燥、清洁,这是防止霉菌生长的最有效措施。

采用防霉包装。为防止电子产品在流通过程中受到霉菌的侵蚀,可采用防霉包装。防霉包装通常要求对易发霉的产品先进行防霉处理,然后再包装。或是将产品采用密封容器包装,并在其内放置具有抑制霉菌或杀霉菌作用的挥发性防霉剂进行包装。

表面涂覆。通过刷涂、浸渍或其他方法,在材料或零部件表面形成一层憎水并且不为霉菌利用的保护涂层,或者是含有防霉剂的涂料层,使霉菌无法接触到材料或零部件。

(3) 防霉处理。当电子产品的结构形式不能保证避免霉菌的侵蚀时,必须对电子产品进行防霉处理。所谓防霉处理,是指使用防霉剂(杀菌剂)并通过适当的工艺对电子产品的零部件和整机加以处理,使其具有抗霉菌的能力。

(4) 使用防霉材料。由于防霉剂有毒性,并易于挥发,只能在几个月或一、二年内有防霉效果。所以在解决湿热地区产品长期防霉问题时,关键还在于选择具有防霉性能的材料,或适当改变现有材料的成分,使之增强抗霉性能,这是防霉的根本途径。

1.3.2 电子产品的散热及防护

电子产品工作时其输出功率往往只占输入功率的小部分,其功率损失一般都以热能的形式散发出来。实际上,电子产品内部任何具有实际电阻的载流元器件都是一个热源。其中最大的热源是变压器、大功率晶体管、扼流圈和大功率电阻等。这样,当电子产品工作时,温度将升高。电子产品工作时的温度与电子产品周围的环境温度有密切的联系,当环境温度较高或散热困难时,电子产品工作时所产生的热能难以散发出去,将使电子产品温升提高。由于电子产品内的元器件都有一定的工作温度范围,若超过其极限温度,就要引起工作状态改变,寿命缩短甚至损坏,因而使电子产品不能稳定可靠地工作。所以,研究电子产品的散热及防护是非常必要的。

1. 电子产品散热途径

热是物体的内能,称之为热能。热的传导就是热能的转移。热能总是自发的从高温物体向低温物体传播。

传热的基本方式有三种,即传导、对流和辐射。

1) 热传导

热传导是指通过物体内部或物体间直接接触来传播热能的过程。热传导是通过物体内部或物体接触面间的原子、分子以及自由电子的运动来实现能量传播的。热量是度量热能大小的物理量。热量由热端(或高温物体)传向冷端(或低温物体)。

热传导的热量可用下式表示:

$$Q = \Delta t / R_T$$

式中 Q ——单位时间内热传导的热量(瓦或W), 1瓦=0.86大卡/小时;

Δt ——热传导时的温度差(°C);

R_T ——热阻(°C/W)。

热阻是热流途径上的阻力大小。它包括热流通过物体内部的阻力,称为物体导热热阻 R_s , 热流通过两接触面时阻力,称为接触热阻 R_c , 故热阻

$$R_T = \sum R_s + \sum R_c$$

而

$$R_s = \delta / (\lambda \cdot S)$$

$$R_c = 1 / (k_c \cdot S)$$

式中 δ ——传热路径的长度 (m);
 S ——传导截面积 (m^2);
 λ ——导热系数 ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$);
 k_c ——接触传热系数 ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)。

导热系数是一个表示材料导热能力的物理量。不同的材料具有不同的导热系数, 导热系数越大, 说明物体导热的性能越好。

2) 热对流

热对流是依靠发热物体 (或高温物体) 周围的流体 (气体或液体) 将热能转移的过程。由于流体运动的原因不同, 可分为自然对流和强迫对流两种热对流。

自然对流是由于流体冷热不均, 各部分密度不同引起介质自然地运动。因为介质 (如空气、水等) 受热后体积膨胀, 其密度和比重都要降低, 所以受热介质上升, 较冷的介质就置换在它原来的位置, 形成了由温度差而引起的自然对流过程。

强迫对流是受机械力的作用 (如鼓风机、水泵等) 促使流体运动, 使流体高速度地掠过发热物体 (或高温物体) 表面。

对流换热公式如下:

$$Q = \alpha \cdot \Delta t \cdot S$$

式中 Q ——单位时间内对流所排出的热量 (W);
 α ——散热系数 ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$);
 Δt ——散热物体表面与冷却介质的温度差 ($^\circ\text{C}$);
 S ——散热面积 (m^2)。

散热系数不仅与流体介质的性质有关, 而且与对流的类型、对流的速度、散热物体的形状、位置等因素有关。

3) 热辐射

热辐射是一种以电磁波 (红外波段) 辐射形式来传播能量的现象。由于温度升高, 物体原子震动的结果引起了辐射, 任何物体都在不断地辐射能量, 这种能量辐射在其他物体上, 一部分被吸收, 一部分被反射, 另一部分要穿透该物体。物体所吸收的那部分辐射能量又重新转变为热能, 被反射出来的那部分能量又要辐射在周围其他物体上, 而被其他物体所吸收。由此可见, 一个物体不仅是在不断地辐射能量, 而且还在不断地吸收能量, 这种能量之间的互变现象 (热能 $\rightarrow$ 辐射 $\rightarrow$ 热能), 就是辐射换热的过程。一个物体总的辐射能量是放热还是吸热, 决定于该物体在同一时期内放射和吸收辐射能量之间的差额。其辐射的能力 (即差额) 称为辐射力, 因辐射而放出的热量, 可用下式表示:

$$Q = c \cdot S[(T_2/100)^4 - (T_1/100)^4]$$

式中 Q ——单位时间内辐射放出的热量 (W);
 c ——辐射系数 ($\text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$);
 S ——物体的辐射表面积 (m^2);
 T_2 、 T_1 ——该物体及空气的绝对温度 (K)。

2. 散热防热的主要措施

利用热传导、热对流及热辐射, 把电子产品中的热量散发到周围的环境中去称为散热。电子产品常用的散热方法有自然散热和强制散热。

1) 自然散热

自然散热也称为自然冷却。它是利用产品中各元件及机壳的自然热传导、自然热对流、自然热辐射来达到散热的目的。自然散热是种最简便的散热形式,它广泛用于各种类型的电子产品,其主要任务是在结构上进行合理的热设计,将电子产品内部的热量畅通无阻地,迅速地排到电子产品外部,使产品工作在允许温度范围内。

(1) 机壳自然散热。电子产品的机壳是接受产品内部热量并将其散到周围环境中的机械结构(这只是从热设计角度来考虑,暂不考虑机壳的其他作用),它在自然散热中起着重要作用。在机壳热设计中应考虑以下问题。

选择导热性能好的材料做机壳,加强机箱内外表面的热传导。

为了提高机壳的热辐射能力,可在机壳内外表面涂粗糙的黑漆。颜色越深其辐射能力越好,粗糙的表面比光滑表面热辐射能力强。如果美观要求不高,可涂黑色皱纹漆,其热辐射效果最好。因为粗糙的表面和深颜色其辐射系数大。

在机壳上,合理地开通风孔,可以加强气流的对流换热作用。通风孔的位置可开在机壳的顶部和底部以及两侧面,实践证明,前者比后者的散热效果要好。开通风孔时应注意不能使气流短路,出进风口应开在温差最大的两处,距离不能太近。通风孔的形式很多,如图 1.3.2 所示,列举了常用的通风口结构形式。

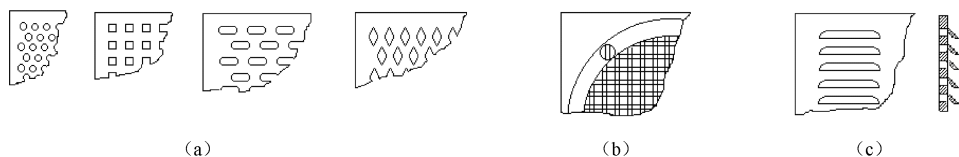


图 1.3.2 通风孔的形式

图 1.3.2 (a) 所示为最简单的冲压而成的通风孔,特点是制造简单,但灰尘易进入设备内部。孔洞尺寸大则对流好,但会降低机壳强度并影响屏蔽效果。图 1.3.2 (b) 所示是通风孔较大时用金属网遮住洞口的形式。图 1.3.2 (c) 所示为百叶窗式通风孔,其孔洞较大又能防止灰尘落入,并且能保证机壳的一定强度,所以,在大型机柜的外壳上采用较多。

机壳对外界环境的热传导散热效果不显著,这是由于空气的热传导能力很小,故一般可忽略不计。但机壳内部的热量却可以通过内部的金属结构件传导给机壳,再由机壳以热辐射和热对流的形式传给外界环境,所以机壳的材料用导热性好的金属较好,最好用铝合金,机壳与内部金属结构件的连接,应尽可能做到接触热阻低,有利于热传导。

(2) 电子产品内部的自然散热。

元器件的自然散热。

a. 电阻:电阻的温度与其形式、尺寸、功率损耗、安装位置以及环境温度等因素有关。一般电阻是通过引出线的传导和本身的对流、辐射散热的,例如在正常环境温度下,功率小于 $1/2\text{W}$ 的碳膜电阻,通过传导散去的热量占 50%,对流散热占 40%,辐射散热占 10%。因此,在装配电阻时,引脚应尽可能短一些,并且要加大与其他元件的距离。

b. 变压器:它主要依靠传导散热,对不带外罩的变压器,要求铁心与支架、支架与固定面都要良好接触,使其热阻最小。对有外罩的变压器,除要求外罩与固定面良好接触外,可将其垫高并在固定面上开孔,形成对流。变压器外表面应涂无光泽黑漆,以加强辐射散热。

c. 晶体管:对于功率小于 100mW 的晶体管,一般不用散热器,依靠管壳及引脚的对流、

辐射和传导散热。至于大功率的晶体管应该采用散热器散热。

d. 集成电路：对于一般集成电路的散热，主要依靠外壳及引脚的对流、辐射和传导散热。当集成电路的热流密度超过 $0.6\text{W}/\text{cm}^2$ 时，应装散热装置，以减少外壳与周围环境的热阻。

e. 其他元器件：小功率的电感、电容、二极管等类似于电阻，主要依靠于引脚的传导散热；对于大功率的这些元器件，同样需要采取相应的散热装置。

元器件的合理布置。

a. 为了加强热对流，在布置元器件时，元器件和元器件与结构件之间，应保持足够的距离，以利于空气流动，增强对流散热。

b. 在布置元器件时应将不耐热的元器件放在气流的上游，而将本身发热又耐热的元器件放在气流的下游。

c. 对热敏感元件，在结构上可采取“热屏蔽”方法来解决，如图 1.3.3 所示，热屏蔽就是采取措施切断热传播的通路，使电子产品内某一部分的热量（热区）不能传到另一部分（冷区）去，从而达到对热敏感元件的热保护。

电子产品内部的合理布局。

a. 应合理地布置机箱进风口的位置，尽量增大进风口之间的距离和它们的高度差，以增强自然对流。

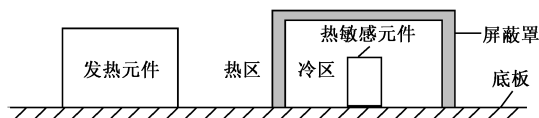


图 1.3.3 热屏蔽方法示意图

b. 对于大面积的元器件应特别注意其放置位置，如机箱底的底板、隔热板、屏蔽板等。若位置安排不合理，可能阻碍或阻断自然对流的气流。

c. 合理安排印制板。对印制板的位置排列，如设备内只安排一块印制板，无论印制板水平放置还是垂直放置，其元器件温升区别不大。如设备内安排几块或几十块印制板，这时应垂直并列安装，每块印制板之间的配置间隔保持 30mm 以上，以利于自然对流散热。

2) 强制散热

强制散热方式通常有强制风冷、液体冷却、蒸发冷却、半导体致冷等。

(1) 强制风冷。强制风冷是利用风机进行鼓风或抽风，提高产品内空气流动的速度，增大散热面的温差，达到散热的目的。强制风冷的散热形式主要是对流散热，其冷却介质是空气。强制风冷应用很广泛，它比其他形式的强制冷却具有结构较简单，费用较低，维护较简便等优点。所以它是目前应用最多的一种强制冷却方法。

(2) 液体冷却。由于液体的导热系数、热容量和比热都比空气大，利用它作为散热介质其效果比空气要好，因此多用于大功率元件（如行波管、磁控管、功放管和整流管等），以及某些大功率的分机和单元。液体冷却系统比较复杂，体积和重量较大，设备费用较高，维护也较复杂。液体冷却系统可分为两类：直接液体冷却和间接液体冷却。

(3) 蒸发冷却。每一种液体都有一定的沸点，当液体温度达到沸点时就会沸腾而产生蒸汽，从沸腾到形成蒸汽的过程称为液体的汽化。液体汽化时要吸收热量。蒸发冷却就是利用液体在汽化时能吸收大量热量的原理来冷却发热器件的。比如目前的冰箱也是利用这一原理进行制冷的。

(4) 半导体致冷。当任何两种不同的导体组成一电偶对，并通以直流电时，在电偶对的相应接头处就会发生吸热和放热现象。这种效应在一般的金属中很弱，在半导体材料中则比较显著，因此可用半导体作为致冷元件。

半导体致冷由于没有机械传动部分，不需致冷剂，所以，工作无噪声、无震动，可制成真正意义上的无氟冰箱，同时易于实现自动调节、致冷与加热转换。

3) 功率晶体管及集成电路芯片的散热

在电子产品中使用的晶体管和集成电路，由于流过集电极 PN 结的电流产生热量，必须采取有效的方法将这些热量散发出去，否则晶体管与集成电路的工作性能会变坏，严重时还会烧坏。因此在使用晶体管与集成电路时，必须认真地考虑其散热问题。

(1) 晶体管及集成电路芯片的散热原理。

晶体管和集成电路在工作时，直流电源功耗有一部分要消耗在晶体管内部，就是集电极功耗 P_c 。它们产生的热量一面使结温度升高，一面又经过管壳向四周发散，在连续工作时，达到热的平衡，使得结温度保持在高于环境温度 T_a 的某一定值 T_j 。所以在一定的环境温度 T_a 和晶体管和集成电路散热能力下，集电极功耗 P_c 就决定了管子结温度 T_a 的高低。而一个晶体管或集成电路最大允许的结温度 T_{jM} 是一定的，它由器件的材料和制造工艺所决定。对于锗材料， T_{jM} 约为 $75 \sim 100$ ，对于硅材料，约为 $150 \sim 200$ 。每种型号晶体管和集成电路的 T_{jM} 可以从晶体管器件手册和集成电路手册中查到。这样，在一定环境温度 T_a 和管子的散热能力下，最大允许的集电极功耗 P_{CM} 就是一定的，它由 T_{jM} 所限制。使用时，如果长时期超过 P_{CM} ，则晶体管结温度将超过最大允许结温度 T_{jM} ，就会缩短管子寿命，甚至有烧坏的危险。

从定量来看，晶体管与集成电路的 P_{CM} ， T_{jM} 与环境温度 T_a 和器件的散热能力之间有以下关系：

$$T_{jM} = T_a + R_T P_{CM} \quad \text{或} \quad P_{CM} = (T_{jM} - T_a) / R_T$$

式中 R_T 为热电阻，单位是 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ 或 $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ ，例如，3AX81 的热阻 $R_T = 0.25$ $^{\circ}\text{C}/\text{mW}$ ，即集电极功耗每增加 1mW，结温升高 0.25 。热阻反映了器件的散热能力，热阻愈小，则器件散热能力愈好。由上式可看出，在一定的最高结温 T_{jM} 和环境温度 T_a 下，热阻愈小，则最大允许的集电极功耗愈大。例如一个晶体管 $T_{jM} = 90$ ，使用时最高工作温度 $T_a = 50$ ，设热阻 $= 20$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，则管子的 $P_{CM} = 2\text{W}$ 。如果将热阻降低为 4 $^{\circ}\text{C}/\text{W}$ ，则 $P_{CM} = 10\text{W}$ ，比原来的最大允许集电极功耗提高了 5 倍。这种情况，从物理现象上也是容易理解的。热阻减小，表示晶体管散热能力加强，可以把集电极功耗所产生的热量更快地散发掉，因此对于一定的 T_{jM} 和 T_a ，可以承受的最大集电极功耗 P_{CM} 就增加了。由上可知，提高一个晶体管的 P_{CM} ，也就是提高管子的输出功率，即增加管子的散热能力，也就是减小它的热阻。目前，提高器件散热能力的主要方法是装散热器（微机在 CPU 芯片的散热器上还装电风扇）。散热器用导热性能良好的铜、铝等金属制成，表面涂黑，晶体管装上散热器后，热阻降低，最大允许集电极功耗显著增加，一般可增大 5 倍以上，所以在输出功率大于 1W 时，器件就需要装上适当的散热器。

(2) 散热器。

目前常用的散热器大致有以下几种类型：平板型、平行筋片型、叉指型、星型等。如图 1.3.4 所示。

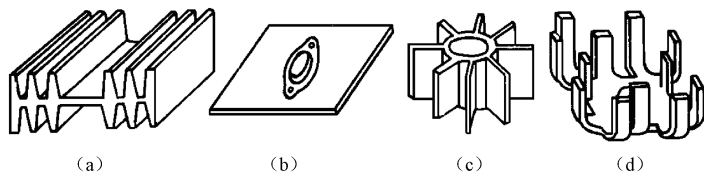


图 1.3.4 散热器形式

平行筋片型散热器。

平行筋片散热器是铝合金挤压成型的具有平行筋片的铝型材做成的散热器，如图 1.3.4(a)