

电子制作 工艺技巧

任致程 编著
凌红武



无线电爱好者丛书

全面讲解：
基础工艺、结构工艺、
油漆工艺、粘接工艺、
焊接工艺、布线工艺、
印制线路板制作工
艺、线圈绕制工艺

迅速成为电子
制作高手

人民邮电出版社

精
品
系
列



无线电爱好者丛书精品系列

电子制作工艺技巧

任致程 凌红武 编著

人民邮电出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子制作工艺技巧/任致程,凌红武编著. - 北京:人民邮电出版社,1999.12

(无线电爱好者丛书)

ISBN 7-115-08181-6

I. 电… II. ①任…②凌… III. 电子设备-生产工艺
IV. TN05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 50286 号

无线电爱好者丛书精品系列

电子制作工艺技巧

◆ 编 著 任致程 凌红武

责任编辑 贾安坤

◆ 人民邮电出版社出版发行 北京市崇文区夕照寺街 14 号

北京朝阳隆昌印刷厂印刷

新华书店总店北京发行所经销

◆ 开本:787×1092 1/32

印张:10

字数:222 千字

1999 年 12 月第 1 版

印数:5 001 - 10 000 册

2000 年 4 月北京第 2 次印刷

ISBN 7-115-08181-6/TN·1531

定价:14.00 元

第一章

电子装置制作基础工艺

一台好的电子装置,必须在设计时考虑气候、机械、电磁干扰对它的影响;要设想到使用人员对体积、重量、维护的要求;要注重电子装置内部元器件的绝缘与通风、散热;要重视防潮湿、防盐雾、防霉菌、防腐蚀、防压力等等。而这些,都是电子装置制作的基础工艺。

一、电子装置必须适应工作环境

1. 气候对电子装置的影响

(1) 温度

电子装置周围的环境温度会直接影响机壳内的温度,其温度又将引起电子装置的元器件和零件的参数变化,影响电子装置的正常工作,严重时甚至造成损坏。在同一地点,昼夜气温变化,或者在严寒地区,室内外温差变化,高低温循环变化,均影响电子装置的性能。

(2) 湿度

我们知道,空气中有水蒸汽微粒,含水多少常用绝对湿度和相对湿度两种方法来表示。

绝对湿度:是指在一定温度下,单位体积(1dm^3)空气中的含水量(g),绝对湿度可用空气中所含水汽的压强表示,单位是kPa(千帕)。当空气中的水汽能凝聚成雾或小水滴时,这种状态

称为湿度饱和状态。随着温度不同,单位体积空气中的含水量也不同,当空气中的水蒸汽饱和时,其含水量的极限值见表 1-1。

相对湿度:是指在一定温度下,空气中实际含水量与饱和值之比,用百分率表示,这是常用的表示方法。在正常温度下($15^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$),正常的相对湿度为 $50\% \sim 80\%$ 。当相对湿度小于 40% 时,空气被认为是干燥的;当相对湿度大于 80% 时,空气被认为是潮湿的。

当空气的相对湿度大于 65% 时,物体表面均附着一层厚度为 $0.001 \sim 0.1\mu\text{m}$ 的水膜;当空气湿度饱和时,水膜厚度可增加到 $10\mu\text{m}$ 。当相对湿度高于 90% 以上时,湿度增加 1% ,对电子装置的影响要比温度增加 $1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$ 的影响大得多。高湿度持续的时间越长,产生的影响越大。潮湿会引起机壳金属部件、电子元器件的管脚腐蚀,降低介质材料的绝缘性能,严重时会导致电子装置失效甚至报废。

表 1-1 湿度饱和时单位体积空气中的含水量极限值

温度($^{\circ}\text{C}$)	-20	0	20	40	60
空气中最大含水量(g/dm^3)	0.001	0.005	0.017	0.051	0.13

空气的湿度与温度的关系密切。在绝对湿度不变的情况下,相对湿度随温度升高而降低,反之就升高。相对湿度达到 100% 时的温度称为露点。在露点以下,将出现凝结的水滴——凝露现象。凝露对于密封电子装置影响也很大,例如密封的航模电子装置,装置内绝对湿度不变,当航模在高空飞行时,大气温度较低,相对湿度就会增大,甚至产生凝露。例如,在 20°C 时相对湿度为 65% ;当冷却到 13°C 时,其绝对湿度并未改变(仍为 $0.011\text{g}/\text{dm}^3$),但相对湿度却提高到 100% ,达到饱和状态,再继续

续冷却就产生凝露。当温度降到 0°C 时,每立方分米空气中有 0.006g 水汽凝成水滴。

我国东南部的平均绝对湿度虽然很大,但昼夜温度不同,因此相对湿度也不同。夜间温度偏低,相对湿度较高(可达 100%),白天温度偏高,相对湿度较低(约为 80%)。因此,曾出现业余电台白天工作正常,而到夜里由于相对湿度大,元器件参数发生变化而不能正常工作的现象。

当相对湿度保持不变时,温度越高,水汽对电子装置的影响就越大。因为温度高,水汽压增大,材料的间隙也增大,水分子很容易渗入材料而造成危害。因此,高温、高湿对电子装置的影响尤为严重。特别是当湿热在一定范围内交替变化时,会加速元器件金属材料的吸潮和腐蚀,造成电子装置失灵甚至报废。

(3) 气压

在地球的大气层中,气压随高度增加而减小,见表 1-2。

表 1-2 气压与高度的关系

近似海拔高度(m)		0	3000	3658	5000	10000	17000	22000	27000	35000	45000
气压	kPa	100	70	63.5	53.3	26.6	8.5	4.4	2	0.665	0.113
	mmHg	750	525	477	400	200	64	33	15	5	1
换算关系		1 大气压 = 760mmHg = 101.3 kPa									

随高度增加,气压降低,用空气作介质的带电体之间的抗电强度将显著下降。当气压下降到某一数值时,抗电强度最低。但气压继续下降,空气十分稀薄时,因碰撞游离困难,抗电强度又有增加。据试验表明:在 30000m 高空,击穿电压下降到地面的 $1/11$;在 5000m 以下,每升高 100m ,击穿电压降低 1% 。

低气压对电子装置的影响是其内部绝缘容易击穿,飞弧、电晕现象增大;灭弧困难,燃弧时间延长,影响电接点寿命。

在高空,密封电子装置机壳的内侧将受到压力作用;在深水中,密封电子装置机壳的外侧将受到强大压力作用,且压力随着电子装置潜入水中的深度而递增。

(4) 盐雾

海水是咸的,这是由于含有盐分的缘故。盐雾是由海水中的浪花击岸时喷散,或由于气流卷带海水中盐分而形成的。盐雾颗粒直径在 $1 \sim 5\mu\text{m}$ 范围内。表达盐雾的数量特征有两种形式:盐雾含量和盐雾的沉积量。

盐雾含量:是指单位体积海洋空气中的含盐量。单位为 mg/m^3 。

盐雾沉积量:是指单位时间内(时、日、月或年)沉积在单位面积上的盐量。单位是 $\text{mg}/\text{m}^2 \cdot \text{天}$ 。对电子装置有直接影响的是盐雾沉积量。

盐雾对电子装置的影响,主要是金属材料 and 镀层的腐蚀。此外,对机内的电气绝缘材料也有影响,使其表面电阻和抗电强度降低。

(5) 大气污染

在大气中,存在着多种工业废气,如二氧化硫、氯化氢以及各种化学烟雾等。这些工业废气和空气中的水分子产生化学反应,生成各种酸、碱、盐溶液的雾状物,从而引起金属材料腐蚀和有机材料性质变化。

(6) 生物危害

湿热地区存在着霉菌,特别在温度为 $25^\circ\text{C} \sim 32^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 80% 以上的阴暗不通风的地方,霉菌会很快繁殖。在这种环境下还会使某些昆虫寄生,如白蚁、蟑螂、蜂等。由于霉菌和昆虫的吞噬和繁殖,吸附水分和分泌有害物质,常引起腐蚀加重,有机材料损坏,性能改变,活动部分被阻塞等。

(7) 灰砂

大气中存在着大量直径为 $0.005 \sim 0.02\text{mm}$ 的灰尘。灰尘的成分主要是 SiO_2 (约占 $66\% \sim 76\%$)、 Al_2O_3 (约占 $11\% \sim 17\%$) 以及少量有机体残余物等。沙漠地区除了灰尘外,还有大量平均直径为 0.5mm 的砂粒。灰砂进入电子装置后,会引起活动部分加速磨损并影响其性能。

(8) 日光照射

阳光中除可见光外,红外线占 50% ,紫外线占 6% 。红外线和紫外线如果直接照射到电子装置上,将使有机材料老化分解,油漆退色剥落。电子装置若长时间受日光照射,会引起过热。

总之,气候条件对电子装置的影响,主要表现在使电气性能下降,散热困难,运动部分失灵,结构损坏,甚至导致失灵、报废。

2. 机械作用对电子装置的影响

电子装置在使用过程中,要经受各种类型的机械作用。其大致可分为两类:一类是正常的机械磨损,是电子装置工作时所固有的,如各机构和活动部分长期工作所产生的磨损,使设备寿命缩短;另一类机械作用是外界机械力作用,通常指的是振动、碰撞、冲击、离心加速度等。

(1) 各种机械作用的特征

振动:这是一种重复的交变力的作用,它使电子装置在外力作用下产生周期性往复运动。振动的主要来源是运载工具上的发动机,高速转动物体的质量偏心,以及高速飞行器的空气动作作用。

客观环境中的振动,往往不是单一频率的振动,而是许多频率的振动叠加。其振幅大小和振动频率高低,直接取决于激发振动的外界机械力。

碰撞和冲击:碰撞和冲击,是一种不规则瞬时作用于电子装

置上的外力所产生的机械作用。

如果外力具有重复性,次数较多,加速度不大,波形一般是半正弦波,其机械作用称之为碰撞。如汽车、摩托车载运电子装置在崎岖的路上行驶时所产生的机械力。

如果外力不经常出现,次数少,加速度大,波形是单脉冲的,其机械作用称之为冲击。如电子装置自高处跌落等。

表征碰撞和冲击的参数有:

冲击加速度:它反映冲击力的大小,在其他条件一定时,加速度越大,冲击力越大,破坏作用就越大。冲击加速度的单位为重力加速度 g 。

冲击脉冲持续时间:表征冲击力作用时间的长短。时间越长,冲击能量越大,所造成的影响就越大。冲击脉冲持续时间的单位为毫秒(ms)。考虑到破坏有积累作用,因此冲击总次数也是一个重要参数。

离心加速度:离心加速度是运载工具作旋转或曲线运动时所产生的加速度,其单位为重力加速度 g 。离心加速度越大,电子装置所受的离心力也越大,带来的后果也越严重。

(2) 机械作用对电子装置的影响

在外界机械力作用下,如果电子装置刚度、强度不够,就会产生变形和破坏。此外,如果构件连接不可靠,也会引起损坏。

在外界机械力的作用下,电子装置的电气指标发生变化,甚至完全不能工作,这大多是由于电子装置内部元器件在机械力作用下电参数改变或失效所致。例如,元件引线断裂、焊点脱焊;导线变形或位移使电容量(包括分布电容)变化、线圈铁心移动使电感量变化等,均可引起回路失谐,工作状态被破坏;对于电接触器件,如电位器、波断开关、继电器、微调电容器、插头、插座等,会造成接触不良或完全不能接触。此外,在外力作用下,

还可能出现脆性材料破裂,电子管损坏,紧固失效(如螺丝帽松动,电子管从管座中跳出以及印制电路板从插座中跳出或松脱)等。

在振动的环境中,当零件的固有频率与振动频率一致时,会引起共振。共振时振幅逐渐增大,具有很大的破坏性。即使不在共振条件下工作,某些零件也会由于长期交变力作用而遭破坏。实践经验证明:由于振动而引起的损坏,大大超过冲击所引起的损坏。

冲击和碰撞是瞬时作用,瞬时加速度很大,瞬时作用力也很大,对于质量较大的元器件影响更大。

3. 电磁干扰对电子装置的影响

在电子装置的外部 and 内部,存在着由于各种原因所产生的电磁波。如果这些电磁波不是正常工作所需要的,就会对电路产生干扰。

干扰的来源,有来自电子装置内部的和外部的,就其内部的干扰而言有固有的和人为的。所谓固有干扰源,通常来自天线、电源、电子管、半导体管、集成电路中的热骚动,以及电气的转换接触和导线在磁场中的振动等;人为的干扰源是由于业余电子爱好者掌握的知识不够丰富,实际经验不足,对整机设计不当,在电子装置内部的电路与电路之间存在着严重的寄生耦合,形成干扰。电子装置的外部干扰,主要来自宇宙的天电干扰、其他信号发射设备的干扰、会产生电火花或电弧的电气设备的干扰等。

按传输方式分,干扰源有辐射式和传导式两种。辐射式干扰是指任何不希望有的射频信号,如未加屏蔽的点火系统,从转换器、继电器、无线电发射机泄漏出来的射频能量。传导式干扰,是指通过天线引入电缆、电源线、信号线或控制电缆,以直接

或电感电容耦合方式传输的任何不希望有的信号。

按频谱分,有窄带式干扰和宽带式干扰。窄带式干扰为杂散响应,在个别等幅波频率上的寄生振荡、谐波或其他振荡;宽带干扰为周期的或非周期的射频脉冲。

电磁干扰的存在,使电子装置工作不稳定,甚至完全不能工作,尤其是自制业余无线电遥控装置时,必须采取必要的措施严加防范。

4. 电子装置的可靠性

无线电爱好者辛辛苦苦制作出来的电子装置,能否如愿以偿,发挥其作用,除了它的工作性能之外,还有一个可靠性问题。

所谓可靠性,就是电子装置在规定的条件下和规定的时间内,完成规定功能的能力。

电子装置的可靠性,是对“规定的条件”而言的。这里所指的“规定的条件”包括电子装置的使用条件(电气的和机械的)、环境条件和储存条件等。“规定的条件”不同,电子装置的可靠性亦不同。例如:同一个直流稳压电源,在使用时,输出功率不同,其可靠性也不同。一般使用的输出功率越低,其可靠性越高。再举例:同一套无线电遥控装置,在室内使用和恶劣环境条件的野外使用,其可靠性相差很大。一般来讲,环境条件越恶劣,电子装置的可靠性能越低。

电子装置的可靠性与“规定的时间”密切相关,通常,元器件经过筛选,整机经过老化后,电子装置可以有一个较长的稳定使用时期,以后随着时间的增长,可靠性下降,时间越长,可靠性越低。

可靠性是以完成“规定的功能”来衡量的。一个电子装置往往具有若干项“功能”,这里所说的“完成规定功能的能力”是指电子装置若干功能的全体,而不是其中一部分。也就是说,电子

装置只有完成规定的全部功能,才能被认为可靠。

电子装置在工作中,往往由于各种偶然因素的影响而失效。例如:元器件突然损坏,电负荷、温度、机械影响等突然改变,维护或使用不当等。由于这些失效原因具有偶然性,所以对某一个具体的电子装置,在规定的条件下和规定的时间内,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性,随机事件发生的可能性大小,可以用概率来表示。即我们显然无法准确地知道电子装置出现失效的时刻,但我们却可以求出电子装置在规定的条件下和规定的时间内完成规定功能的概率,即完成规定功能的可能性大小。

电子装置的可靠性,可分为固有可靠性、使用可靠性和环境适应性三个方面。

固有可靠性是指电子装置在设计、制作时内在的可靠性。影响固有可靠性的因素很多:如电子装置的复杂程度,电路和元器件的选择与应用,元器件的工作参数及其可靠程度以及机械结构和制作工艺等。对电子元器件来讲,主要是原材料的品质、制作工艺、工作参数等。必须指出,电子装置的固有可靠性在很大程度上依赖于元器件的可靠性。设备越复杂,所用的元器件越多,则电子装置的固有可靠性越低。例如:元器件的可靠性为0.999时(指平均数),具有10个元器件的电子装置的可靠性为0.99;具有100个元器件的电子装置,其可靠性为0.9;而具有400个元器件的电子装置,其可靠性则只有0.67了。

使用可靠性是指使用与维护人员对电子装置可靠性的影响。它包括:使用与维护的程序及设备操作方法的正确性,以及其他人为的因素。使用可靠性在很大程度上依赖于使用人。熟练而正确的操作,及时的维护和保养,都能显著地提高使用可靠性。

环境的适应性是指电子装置所处的环境条件对可靠性的影响。它包括:环境温度、湿度、气压、振动、冲击、霉菌、盐雾、运输等条件的影 响,提高设备的环境适应性,主要是对设备采取各种有效的防护措施。

二、电子装置的使用要求

1. 对体积和重量的要求

电子装置的体积和重量,具有非常重要的意义。在某些情况下,设备的体积和重量起着决定性的作用,如第一代电子计算机是电子管的,因体积大,其应用范围较小,只限于计算用;第二代电子计算机是晶体管的,体积、重量小一些,其应用范围就扩大到程序自动控制方面;第三代电子计算机是集成电路的,体积、重量可以做得很小,其应用范围很广泛,并扩大到空间技术等方面。从制作的角度上讲,体积和重量,意味着原材料消耗降低,具有一定的经济意义。

电子装置都希望有较高的紧凑性,但追求紧凑性会产生一系列矛盾。这主要体现在:

① 设备温升限制是绝大多数电子装置(尤其是大功率的电子装置)提高紧凑性时遇到的最大困难。为了保证电子装置能正常工作,就需要采用一套冷却系统,而冷却系统本身具有一定的体积和重量,这反而提高了电子装置的总体积和重量。电子装置的体积填充系数增大,设备内部的空间相对缩小,散热能力变差,就会促使电子装置温升提高。一般来说,在没有冷却系统的情况下,电子装置内的温度与平均比重成正比关系,当平均密度为 $2 \sim 3\text{kg/dm}^3$ 时,电子装置内温度可达 $150^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$ 。显然,这样高的温度如没有强迫冷却系统,电子装置会很快烧毁的。

② 随着紧凑性提高,元器件间距减小,会导致电子装置性能稳定性下降,尤其是超高频和高压电路,由于分布电容增大,易产生自激和脉冲波形变坏,由于元器件间距小,容易产生短路与击穿。

③ 随着体积小,平均密度和体积填充系数增大,给制作时的装配和使用时的维护修理带来困难,降低了电子装置的可靠性。

④ 紧凑性高的电子装置,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. 使用电子装置时的要求

保证电子装置便于使用与多方面的因素有关,而且随具体的电子装置和使用场所而变化,但原则上可以归纳出以下几点要求:

① 能为使用人员创造良好的工作条件。例如:不会产生令人厌恶的噪声;电子装置能适应恶劣的工作环境;电子装置外观的色彩柔和,给人以好感。

② 操作简便,易于掌握。

③ 安全可靠,有保险装置。当操作者发生误动作时,不会危及电子装置,更不能危及人身安全。

④ 机构轻便,操作者消耗体力少。

⑤ 有仪器仪表的电子装置,读数指示系统清晰,便于观察,长期操作不易疲劳,也不损伤视力。

3. 维护电子装置时的要求

电子装置维护修理是否方便,直接关系着使用可靠性。因此,在设计电子装置时,必须充分考虑维护修理要求。

从维护方便出发,对结构设计提出如下几点要求:

① 在发生故障时,便于打开电子装置机壳,以便迅速维修

或更换元器件。例如,采用插入式或折叠式结构、快速装拆结构,以及可换部件式结构。

② 可调元件、测试点应布置在机器的同一面;经常更换的元器件应布置在易于装拆的部位;对于电路单元,应尽可能采用印制电路板,并用插座与系统联接。

③ 元器件的组装密度不宜过大,即体积填充系数在可能的条件下应取低一些(一般不宜超过 30%)以保证元器件间有足够的空间,便于装拆维修。

④ 设备应具备过负荷保护装置,如过电流、过电压保护;危险处与高压处应有警告标志,有自动安全保护装置(如高压自动断路开关)等,以确保维修安全。

⑤ 电子装置最好有监测装置和故障预报装置(简易的可以省略不用),能使操作者尽早发现故障或预测失效元器件,以便及时更换维修。

三、电子装置的制作要求

1. 电子装置制作必须具备的条件

制作条件对电子装置的要求,大致有以下几个方面:

① 电子装置中的零部件、元器件,其品种和规格应尽可能地少,尽量采用市面上常见的或能到专业工厂中购到的通用零部件或产品。

② 电子装置中的机械零部件,应采用在市面上的五金商店购得到的制品,对不太复杂的机械制品,业余无线电爱好者能通过自己双手进行加工。

③ 电子装置中的零部件、元器件以及各种技术参数、形状尺寸等,应最大限度地标准化、规范化。应尽可能采用自己曾用过的元器件,避免在制作中走弯路。

④ 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元器件,应立足于使用国产元器件。

⑤ 电子装置(包括其零部件)的加工精度和技术条件均要求相适应,没有必要无根据地追求高精度。在满足使用性能和技术条件的前提下,其精度等级应尽可能低些。

⑥ 电子装置及其分机、部件的装配应尽可能简单,不需要选配、修配,机械结构装配容易,采用常用的工具即可。

2. 电子装置的经济性

业余电子装置的经济性包括两个方面的内容:使用经济性和制作经济性。

使用经济性,这主要是指使用中的电费和维修费用。使用经济性与可靠性有密切的关系。因为维修费与可靠性成反比,随可靠性的提高而使维修费减少。因此,在设计时提高电子装置的维护修理性能,降低电路和结构的复杂性,以及减少电能消耗,对于提高使用经济性是很有利的。

制作经济性,实际上是制作成本。它包括:制作准备费用、原材料和辅助材料费用、工具仪表添置费用等。减少开支,在设计阶段就应该充分考虑,这主要包括以下几个方面:

① 如果是从电子刊物上获悉的电子装置电路原理,要认真学习,认真研究它的技术条件,仔细了解它的设计参数、性能、使用条件,必要时可与作者通信联系,以便了解更多的制作细节,如调试技巧等。然后正确制定设计方案,设计出合乎自己使用的电子装置来。

② 根据自身的经济条件和技能,按照最经济的生产方法设计零部件,从而降低制作成本。

③ 根据电子装置的性能,在满足技术要求的条件下,选用最经济合理的原材料和元器件。

④ 周密地进行电子装置结构设计,使之具有良好的使用、维修性能,以降低维修费用和使用费用。

四、电子装置的散热

1. 元器件和绝缘材料的允许工作温度

电子装置工作时,其输入功率的相当大的部分是以热能的形式散发出来。实际上,在电子装置内部,任何具有实际电阻的载流元件都是一个热源。其中较大的热源是变压器、电子管、大功率晶体管、扼流圈和大功率电阻等。这样,当电子装置工作时,温度就会升高。电子装置工作时的温度与它周围的环境温度有着密切的关系,当环境温度较高或散热困难时,设备工作时所产生的热能难以散发出去,将使温升提高。由于电子装置内部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。

温度对电子元器件的影响表现在以下几个方面:

① 温度升高将导致电阻器允许耗散功率下降,温度过高能使电阻器的寿命降低。一般电阻器的使用环境温度都有限制,如 RTX 小型碳膜电阻器只有在 40°C 环境温度下才能在额定功率下工作,若超过这个温度就要降低功率使用。另外温度过高会使热噪声增大,温度变化会使阻值变化,温度每升高或降低 10°C ,其阻值大约变化 1%。

② 温度对电容器的影响主要是降低寿命。通常认为:在超过规定允许温度下,每升高 10°C ,电容器寿命就要下降 $1/2$ 。此外,温度变化也会引起电容量、功率因数等参数的变化。

③ 温度对电感元件和变压器的影响主要也是降低使用寿命。通常认为,在超过极限温度下,每升高 $10^{\circ}\text{C} \sim 12^{\circ}\text{C}$,寿命就下降 $1/2$ 。