

中等专业学校教材

电子设备结构工艺

龚维蒸 编



电子工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了电子设备结构的基本概念和主要内容,讨论了电子设备的散热、减振和缓冲、电磁兼容性、防腐与三防,以及电子设备的组装结构工艺、调谐与控制、整机机械结构和结构设计的基本原则和方法,以及有关工艺方面的知识。

本书可作为中等专业学校电子类各整机专业的教科书,也可供职工学校师生和有关工程技术人员参考。

电子设备结构工艺

龚维蒸 编

责任编辑 焦桐顺

*

电子工业出版社出版 (北京海淀区万寿路)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
山东电子工业印刷厂印刷(淄博市周村)

*

开本: 787×1092毫米 1/16 印张: 18.125 字数: 441 千字

1988年9月第一版 1988年9月第一次印刷

印数: 1—5,200册 定价: 3.25元

ISBN 7-5053-0265-5/TN·112

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校、中等专业学校工科电子类专业教材的编审、出版的组织工作。由于各有关院校及参与编审工作的广大教师共同努力，有关出版社的紧密配合，从1978年至1985年，已编审、出版了两轮教材，正在陆续供给高等学校和中等专业学校教学使用。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应“三个面向”的需要，贯彻“努力提高教材质量，逐步实现教材多样化，增加不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同改革试验的教材”的精神，我部所属的七个高等学校教材编审委员会和两个中等专业学校教材编审委员会，在总结前两轮教材工作的基础上，结合教育形势的发展和教学改革的需要，制订了1986~1990年的“七五”（第三轮）教材编审出版规划。列入规划的教材、实验教材、教学参考书等近400种选题。这些教材的评选推荐和编写工作由各编委会直接组织进行。

这批教材的书稿，是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中经院校推荐，由编审委员会（小组）评选择优产生出来的。广大编审者、各编审委员会和有关出版社为保证教材的出版和提高教材的质量，作出了不懈的努力。

限于水平和经验，这批教材的编审、出版工作还会有缺点和不足之处，希望使用教材的单位，广大教师和同学积极提出批评建议，共同为不断提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系按电子工业部制定的工科电子类专业教材1986~1990年编审出版规划,由中专电子机械类专业教材编审委员会机械制造编审小组组织征稿、评选、推荐出版的。

本教材由南京无线电工业学校龚维蒸编著,贵州无线电工业学校曹德普主审。

本课程的参考学时数为70~80学时,其主要内容为:电子设备的工作环境和对设备的要求;电子设备的散热、防腐蚀与其他防护、减振和缓冲、电磁兼容性;电子设备的组装及结构工艺;电子设备的调谐与控制;电子设备整机机械结构等。在编写本教材时注意到结合各种类型电子专业的需要,在内容选择上,除基本内容分析较详细外,对有关章节稍作扩展以反映电子设备结构工艺方面新发展的内容。在教学时,可根据专业特点和教学时数作适当增删。

本教材在编写过程中,各兄弟学校的老师和厂所的工程技术人员为本书提供许多宝贵意见,这里表示诚挚的感谢。由于编者水平有限,书中难免还存在一些缺点和错误,殷切希望广大读者批评指正。

编 者

目 录

绪 言	(1)
第一章 电子设备的工作环境和对设备的要求	(3)
§ 1-1 电子设备的工作环境	(3)
§ 1-2 环境因素对电子设备的影响	(4)
§ 1-3 电子设备的可靠性	(14)
§ 1-4 对电子设备的基本要求	(23)
第二章 电子设备的散热	(28)
§ 2-1 概述	(28)
§ 2-2 传热的基本形式和基本原理	(29)
§ 2-3 散热方式及其选择	(33)
§ 2-4 自然散热	(36)
§ 2-5 功率晶体管散热器的选择	(47)
§ 2-6 强制(迫)风冷散热	(54)
§ 2-7 液体冷却散热	(55)
§ 2-8 其它冷却散热方法	(57)
§ 2-9 防热与热屏蔽	(60)
第三章 电子设备的防护与防腐	(63)
§ 3-1 概述	(63)
§ 3-2 潮湿的防护	(64)
§ 3-3 金属腐蚀的防护(防锈)	(69)
§ 3-4 压力保护与密封结构	(75)
§ 3-5 防盐雾与防霉菌	(78)
第四章 电子设备的减振与缓冲	(83)
§ 4-1 概述	(83)
§ 4-2 减振和缓冲的基本原理	(84)
§ 4-3 减振器的结构及其选用与布局	(91)
§ 4-4 提高电子设备耐冲击振动的措施	(103)
第五章 电子设备的电磁兼容性	(107)
§ 5-1 概述	(107)
§ 5-2 屏蔽与屏蔽效果	(108)
§ 5-3 电场屏蔽	(110)
§ 5-4 磁场屏蔽	(113)
§ 5-5 电磁场屏蔽	(115)
§ 5-6 典型元器件的屏蔽结构	(120)
§ 5-7 电路的屏蔽及其屏蔽结构	(127)
§ 5-8 泄漏与防泄漏结构	(134)
§ 5-9 馈线干扰的抑制	(136)

§ 5-10 地线干扰的抑制及地线系统	(142)
§ 5-11 电源馈线	(146)
第六章 电子设备的组装及其结构工艺	(149)
§ 6-1 电子设备的元器件布局	(149)
§ 6-2 电子设备的布线	(162)
§ 6-3 电子设备的组装结构形式与组装结构工艺性	(166)
§ 6-4 印制电路板及其制造工艺过程	(169)
§ 6-5 印制电路板设计	(171)
第七章 电子设备的调谐与控制	(185)
§ 7-1 概述	(185)
§ 7-2 手动调谐机构	(195)
§ 7-3 控制与转换机构	(202)
§ 7-4 自动调谐系统	(204)
§ 7-5 随动控制系统简介	(215)
第八章 电子设备整机机械结构	(218)
§ 8-1 概述	(218)
§ 8-2 机箱机柜	(219)
§ 8-3 底座与面板	(236)
§ 8-4 人机系统	(241)
§ 8-5 读数指示和显示装置	(247)
§ 8-6 操纵控制维护装置	(251)
§ 8-7 电子设备整机结构设计概述	(256)
附 录	(262)
参考书目和资料	(281)

绪 言

随着科学技术日新月异地发展,特别是近三十年来,在基础理论、材料、工艺、生产技术等方面取得了一系列重大突破后,电子技术进入了一个新的发展阶段。当前电子技术已经广泛地应用于国防、国民经济各部门以及人民生活等各个领域。就电子设备而言,它已广泛地用于通信、广播、电视、导航、无线电定位、自动控制、遥控遥测和计算技术等方面;而且因使用部门和运载工具不同,电子设备可以是陆用(室内和室外)、海用(水面和水下)和空用(低空、高空和宇宙)。可见,电子设备随着功能和用途的不同是极其多样化的。

一、电子设备的特点

由于生产和科学技术的不断发展,工艺手段的革新,新材料的使用,固体电路、大规模集成电路的出现和推广,使电子设备在电路和结构上产生了巨大的飞跃。再加上当代电子设备要适应更加广泛的用途,就使之具有不同于过去的点。这些特点可归纳为以下几方面:

1. 设备较复杂,组成的元器件、零部件数量多,组装密度大。现代电子设备要完成多种功能,因而组成设备的元器件、零部件越来越多。为了满足体积小重量轻要求,单位体积的元器件密度必须较大。例如,五十年代所使用的通讯发射机或接收机,机内用电子管13只到19只,阻容元件相应为130只到190只。而今日的自动调谐收发讯机,机内使用元器件约1800多只,其中仅晶体管就有200多只,此外还有电机10个,继电器40个等。由于设备的体积和重量并没有增加多少,而元器件、零部件增加了近10倍,故设备的组装密度提高了9~10倍。

2. 设备使用范围广,所处的工作环境条件复杂,现代电子设备往往要在恶劣的气候、机械及其它使用条件下工作。例如,某机载设备的工作环境条件为:温度为 $-40 \pm 3 \sim +55 \pm 3^{\circ}\text{C}$;相对湿度在 $40 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 时为92~98%;低气压为22665Pa(约0.227大气压);振动频率为10~100Hz、振动加速度为5~6g;冲击加速度为6~8g;离心加速度为12g等。

3. 设备可靠性高,寿命长。现代电子设备必须具有较高的可靠性和足够的工作寿命。对于军用设备可靠性要求更高,否则将会带来不可弥补的损失。例如,某有线300路载波同轴电缆通讯系统,在1200km的通讯传输线上有150多个增音站埋入地下。系统使用元器件达十五万个之多,并要求无故障工作二十年,如果其中有一个元器件失效,将导致整个通讯系统中断,造成严重的后果。

4. 设备精度要求高,控制系统复杂。现代电子设备往往要求高精度和高度自动化,为了达到这个要求,其控制系统也就较为复杂。例如,卫星通讯地面站,要求直径30m的抛物面天线自动跟踪四万公里高空中的入造卫星不发生偏差。还要求在一年内电源不中断,遇到故障能自动换接备份电源等。

上述电子设备的特点,只是对整体而言,具体到某种设备又各具特点,这里不可能一一叙述。

二、《电子设备结构工艺》课程的内容和任务

设计和制造电子设备的主要依据是设备的性能要求和技术条件。具体包括以下内容:

1. 设备的工作环境条件 它包括气候条件(设备工作环境的温度、湿度和气压等)、机械条件(设备工作环境的外界动态机械负荷的振动、冲击和加速度等)、化学物理条件(设备工作环境可能出现的腐蚀、老化、氧化和放射性物质引起的破坏等)。

2. 设备的电性能指标 主要的电性能指标包括工作波段、频率稳定度及准确度、灵敏度、输出功率、效率、非线性失真和噪声抑制等。当然对于不同设备还有一些特殊的电性能指标。

3. 设备的可靠性和寿命要求 这是对电子设备很重要的要求,它关系到电子设备在既定工作环境中能否正常工作。特别是应用于国防和国民经济重要部门的设备,关系重大,必须充分保证。

4. 设备的使用要求 它包括设备的体积、重量和紧凑性要求、操纵控制要求和维护要求等。

除此以外,在设计和制造电子设备时还必须注意到工艺性和经济性。因为工艺性和经济性是生产过程中的重要因素,它关系到企业的发展和经济效益,必需予以足够的重视。

在电子设备的设计中,首先是线路的设计与计算,但任何线路设计的最终实现,都是通过具体的结构体现出来的。所以设计电子设备必然包含两部分设计内容,即线路设计和结构设计。

线路设计就是根据设备的性能要求和技术条件,确定方案(制订方框图或电原理图)、拟定或选定线路图,并初步确定其元器件参数,进行必要的线路计算和试验,最终确定出线路图并选定元器件及其参数。

结构设计就是根据线路设计提供的资料(线路图和元器件资料)并考虑设备的性能要求、技术条件等,合理地布置元器件并使之组成电路。与此同时还要进行各种防护设计和机械结构设计,最后组成一部完整的设备,并绘出全部工作图。

必须指出,在设计电子设备过程中,线路设计和结构设计很难截然分开,特别在某些分机或单元盒设计中,线路与结构难于划清。这就要求线路设计者和结构设计者协同配合,密切合作,才能圆满完成设计任务。作为线路设计者掌握和了解结构工艺知识,密切与结构设计人员配合,对于解决设计过程中可能出现的线路与结构矛盾,是很有益的。

电子设备结构设计的任务,就是要保证所设计的电子设备,在既定的工作环境条件和既定的使用条件要求下,能够稳定可靠地完成预期的功能,并达到技术条件所规定的各项指标。

《电子设备结构工艺》作为一门课程,对于从事电子技术整机设计与制造的线路人员是很重要的。它是电子技术整机类专业的基础课,将赋予线路人员必要的结构工艺知识,是整机设计不可缺少的基础。《电子设备结构工艺》课程所涉及的基础知识较广,要求在学习本课程前具备理化、机械基础、材料元件、电子线路等方面的知识,以及工艺方面的有关知识,只有具备这些基础才能学好本课程。

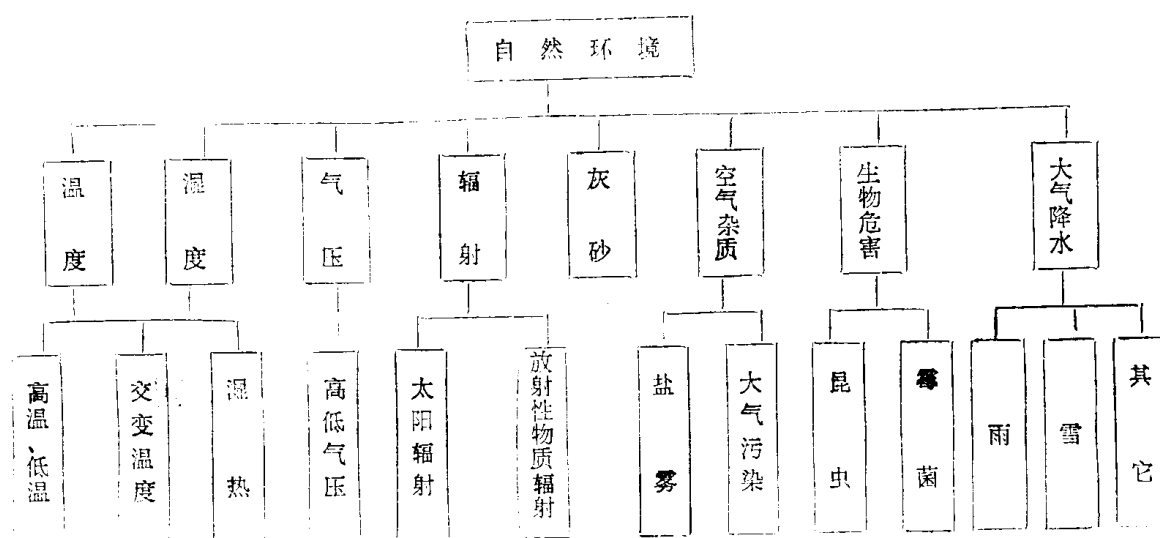
第一章 电子设备的工作环境和对设备的要求

§ 1-1 电子设备的工作环境

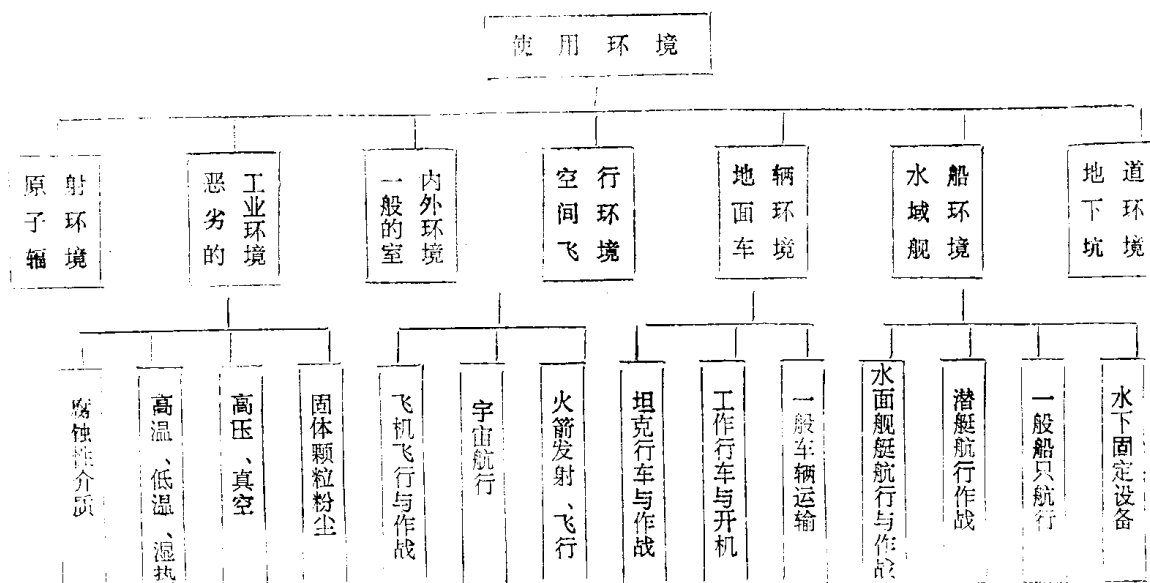
电子设备所处的环境，大体上可分为自然环境和使用环境。

自然环境是自然条件形成的环境。而使用环境则是电子设备在工作、运输、储存时所处的环境。在有些条件下，使用环境要受到自然环境影响。

自然环境包含：



电子设备的工作环境，随用途和运载工具的不同，往往有很大悬殊，可从下表得到说明。



§ 1-2 环境因素对电子设备的影响

电子设备所处的环境虽然复杂多样,但对设备的影响归纳起来不外乎三个方面。即,气候因素影响,机械因素影响,电磁干扰(也称噪声干扰)影响。

下面分别讨论各种工作环境的特点及对电子设备的影响和要求。

一、气候条件 及其对电子设备的影响

1. 我国的气候条件与气候区分

我国幅员辽阔,南自北纬 $3^{\circ}39'$,北至北纬 $53^{\circ}33'$,约跨纬度50度;西起东经 $71^{\circ}55'$,东至东经 $135^{\circ}03'$,约跨经度63度。东临太平洋,西部深入亚洲大陆,地形上有海拔5000m以上的青藏高原,有低于海平面154m的吐鲁番盆地,境内山脉、江河、湖泊、平原交错,形成了从热带到寒带,从海滨到高原的各种气候条件。根据我国气候特征,按温度湿度和气压不同,将我国分成四个气候带,六个气候区(见表1-1)。

极限气候条件是指在若干年气象记录中,在每一地区每一气候因素的最大值或最小值。气候区的划分虽与地理位置有关,但主要是根据气候特征。

气候条件除包括温度、湿度、气压等主要因素外,还包括盐雾、大气污染、灰砂、日光照射等因素。此外,把霉菌、昆虫侵害、辐射也列入气候条件内。

2. 电子设备的环境气候条件

电子设备除在自然气候条件下使用外,还常常在许多不同的运载工具中使用,如汽车、坦克、舰船、飞机、火箭等。运载工具中的设备所处的环境气候条件有些与自然气候条件相同,但运载工具又有其本身的特点,如密封、散热条件差、附近有热源等。例如,超音速飞机飞行在11000m~12000m高空时,机外气温是 $-55\sim-60^{\circ}\text{C}$,由于空气动力增温和机舱密闭的缘故,设备舱的温度竟达 120°C 高温。又如,在大气温度为 30°C 的情况下,通讯车在露天日光下,关闭门窗并开油机,车内温度最高达 63.9°C 。因此,运载工具中的设备所处的环境气候条件,有些又与自然气候条件不同。

不同场合下使用的电子设备,其环境气候条件要求见表1-2。

电子设备内部元器件的环境气候条件(又称微气候条件)与设备的气候条件有相同之处,也有不同之处。当设备不工作时是相同的;当设备工作时,特别是高温条件一般是不相同的。一般说来,由于电子器件本身发热将使温度升高,例如坦克内温度为 49°C ,坦克中电台内的最高温度为 76°C 。因此,元器件的低温条件要比设备的低温条件好些,而高温条件比设备更为恶劣。为了保证设备的可靠性,对元器件从严要求,其低温条件按设备的低温贮存条件要求,而高温条件则按元器件本身的最高温度要求。

设备内部的湿度条件,当设备不工作时和周围环境相同,当设备工作时由于设备内部温度升高,其相对湿度有所下降。因此,对元器件来说,其湿度条件应按低温贮存时的湿度要求。

设备内部的气压条件,对于非密封设备,无论设备是否工作均与外部环境条件相同;对于密封性能可靠的设备,也可以按标准大气压要求。

3. 气候条件对电子设备的影响

表 1-1 我国电子产品气候分区综合表

气候带	气候区	地理分布	环境要素										极端情况	气候试验项目					
			气候			湿度			温度			其它因素							
			大气候			最热月相对湿度			干热月	其他	含盐空气				霉菌昆虫				
			最高气温	最低气温	最热月平均气温	最冷月平均气温	日最大温差	最大值								平均值	最小值		
热带	湿热带	雷州半岛、海南岛、台湾南部	41℃	0℃	36℃	8℃	10℃	95% 气温高于30℃	90% 平均气温高于25℃	月气温高于35℃	50% 气温高于35℃	0	强烈热辐射至少连续一个月，有露，有每小时100mm暴雨	沿海有	有	夏季相对湿度常达100%，有的地区太阳辐射全年达586Jk/cm ² 台湾阿里山区一日暴雨曾达1164mm	B级	E级	
亚热带	亚湿热带	淮河流域以南、四川、汉中盆地、台湾北部	47℃	-15℃	36℃	-5℃	25℃	90% 气温高于30℃	85% 平均气温高于25℃	月气温高于35℃	50% 气温高于35℃	0	同上	沿海有	有	海上浓雾连续达十多天之久，有的地区雾天大于100天	C级	F级	
	亚干热带	新疆天山以南、戈壁沙漠	48℃	-30℃	41℃	-20℃	30℃	80% 气温高于20℃	20% 平均气温高于35℃	月气温高于35℃	10% 气温高于25℃		强烈热辐射至少连续一个月，冬季有暴风，有沙尘，有严重冰冷			新疆且未风砂日数全年达15天，甘肃张掖达57天，若羌一年雨量仅5毫米	D级	F级	
温带	高原区	海拔高度在2000m以上的地区															海拔4000m地区气压仅为标准气压60%，拉萨太阳辐射全年达779kJ/cm ²		
	温和区	淮河流域、东北中南部、黄河套以东	46℃	-40℃	32℃	-26℃			30% 平均气温高于25℃	月气温高于25℃	5% 气温高于25℃	不到一个月	有露，有暴雨和严重冰冻						
寒带	干燥区	河套以西的内蒙古自治区、甘肃、青海、新疆北部	48℃	-40℃	35℃	-26℃		80% 气温高于20℃	15% 平均气温高于25℃	月气温高于25℃	5% 气温高于25℃	不到一个月	强烈热辐射至少连续一个月，有暴雨，有沙尘						
		黑龙江省、内蒙古自治区北部	35℃	-50℃	25℃	-35℃			60% 平均气温高于25℃	月气温高于25℃			有露，有寒风和严重冰冻			黑龙江漠河最低气温曾达-57℃			

表1-2 电子设备的环境气候条件要求

设备类别		固 定 使 用 设 备			便携式设备	坦克、装甲 车用设备	通讯、雷达 车用设备
环境条件要求		露 天	室 内	地下工事			
热	耐热性要求	极热条件(°C)	48	48	48	70	70
		持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	8、4、5、1、2、4	8、4、5、1、2、4
		温 度(°C)	30 ↑ 45 ↓	30 ↑ 45 ↓	30 ↑ 45 ↓	35 ↑ 50 ↑ 65 ↓	35 ↑ 50 ↓ 65 ↓
		持续时间(h)	12、5.5、 1、5.5		12、5.5、1、5.5		
		太阳辐射强度 (J/cm ² ·s)	0 ↑ 8.4 ↓		0 ↑ 8.4 ↓		
		风 速(m/s)			1~2		
		承受天数	5	5	5	5	5
冷	耐冷性要求	极冷条件(°C)	-52	-30	-55	-55	-55
		持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4
		温 度(°C)	-45 ↑ -35 ↓	-20 ↑ -10 ↓	-45 ↑ -35 ↓	-45 ↑ -35 ↓	-45 ↑ -25 ↓
		风 速(m/s)			0	0	0
		承受天数	10	10	10	10	10
湿	耐湿热要求	极大水汽压(Pa)	4200	4200	4200	4200	4200
		持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	根据具体设备 选用丛林内、 坑道内、露天 下要求	10、4、6、4	10、4、6、4
		温 度(°C)	27 ↑ 33 ↓	27 ↑ 33 ↓		27 ↑ 33 ↓	27 ↑ 33 ↓
		湿 度(%)	97 ↑ 80 ↓	97 ↓ 80 ↑		97 ↓ 80 ↑	97 ↓ 80 ↓
		风 速(m/s)				0	0
		承受天数	20	20		20	20
干	耐干性要求	极小水汽压(Pa)	0	0	0	0	0
		持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	同 全 国 露天设备	8、4、5、1、2、4	8、4、5、1、2、4
		温 度(°C)	30 ↑ 45 ↓	30 ↑ 45 ↓		35 ↑ 50 ↑ 65 ↓	35 ↑ 50 ↑ 65 ↓
		湿 度(%)	20 ↑ 5 ↓	20 ↓ 5 ↑		20 ↓ 5 ↑	20 ↓ 5 ↑
		风 速(m/s)	2	1		0	0
		承受天数	5	5		5	5
大气压力	耐大气压力	极高气压(Pa)	104520	104520	104520	104520	104520
		极低气压(Pa)	63012	63012	63012	63012	63012

表1-2 续

设备类别		快艇用 设 备	一般舰艇用设备		短期贮存	说 明	
环境条件要求			露天设备	舱室设备			
热	极热条件(°C)		60	39	46	70	1. 表中所列只是气候条件中的一些主要要求, 对于在不同场合下使用的设备还有一些其它要求。如盐雾、霉菌、大气污染灰砂等。 2. 根据温度在一天中的变化情况, 可分为四个阶段: ① 夜晚九时多到第二天日出, 约10个小时, 是低温恒定时段。 ② 日出后到十时多, 约四个小时, 是温度上升时段。 ③ 十时多到下午四、五时, 约六个小时, 是高温恒定时段。 ④ 下午四、五时以后到晚上九时多, 约四小时, 是温度下降时段。 示例: 东南区耐热性要求一档为: 持续时间(小时)10、4、6、4温度(°C)30↑40↓ 含意是: 在一天24小时中, 有10个小时是低度恒定阶段, 温度为30°C, 然后温度上升到40°C, 此40°的高温要持续6个小时, 然后温度下降, 经过4个小时后, 温度降低到30°C, 此后, 又是低温恒定阶段……。 3. 本表来源于“环境条件资料汇编之一(气候条件部分)”“电子元器件通过技术要求和试验方法”编写组1972.5。
	耐热性要求	持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	
		温 度(°C)	30↑50↓	28↑35↓	33↑43↓	30↑65↓	
		持续时间(h)		12、5、5、1、5、5		12、5、5、1、5、5	
		太阳辐射强度(J/cm ² ·s)		0↑7.5↓		0↑3.4↓	
		风 速(m/s)		1~2		1~2	
承受天数		2	5		2		
冷	极冷条件(°C)		-26	-26	-26	-55	
	耐冷性要求	持续时间(h)	8、4、8、4	8、4、8、4	8、4、8、4	10、4、6、4	
		温 度(°C)	-16↑ -12↓	-16↑ -12↓	-16↑ -12↓	-45↑ -35↓	
		风 速(m/s)	0	0	0	0	
		承受天数	5	5	5	2	
	极大水汽压(Pa)		4200	4200	4200	4200	
湿	耐潮湿要求	持续时间(h)	10、4、6、4	10、4、6、4	10、4、6、4	根据具体设备选用丛林内、坑道内、露天下要求	
		温 度(°C)	29↑32↓	29↑32↓	29↑32↓		
		湿 度(%)	95↓80↑	95↑80↑	95↓80↑		
		风 速(m/s)	0	1	0		0
		承受天数	30	30	30		5~10
	极小水汽压(Pa)		50	50	50	50	
干	耐干性要求	持续时间(h)				同全国露天设备	
		温 度(°C)					
		湿 度(%)					
		风 速(m/s)					
		承受天数					
大气压力	极高气压(Pa)		104520	104520	104520	104520	
	极低气压(Pa)		88018	88018	88018	63012	

(1) 温度 表1-2中所列的温度是气象台(站)在离地面1~2m高的百叶箱内测得的。地面的实际气温, 由于受辐射作用, 其高温更高, 低温更低。例如表1-2所列我国最高气温为48°C, 最低气温为-50°C, 这是百叶箱内的温度, 实际上地面温度则为70°C和-65°C。

高空的大气温度随海拔高度而变化。从地面到12000m高空, 气温逐渐降低, 其气温平均增减率是: 从地面到1500m为0.4°C/100m, 从1500m到5000m为0.5°C/100m, 5000m

以上为0.6~0.7℃/100m, 12000~35000m高空是同温层, 是温度大致不变的低温层(温度为-56.5℃)。再向上是电离层, 温度随高度而逐渐升高, 在5~6万米高空, 最高温度达70~80℃或更高。必须指出, 即使在气温很低的高空, 由于飞行体速度高, 引起空气动力增温, 使飞行体外壳温度剧增, 如隔热不好, 则会使设备内部引起高温。

设备周围的环境温度从多方面影响设备内部的温度, 它将引起设备内元器件和零件的参量变化, 直接影响设备正常工作, 甚至于损坏。

在同一地点, 昼夜气温有变化, 沙漠地区昼夜温差很大(达40℃); 在严寒地区, 室内外温差也很大; 飞机在起飞、降落、高速爬升或俯冲时, 温度变化也很剧烈, 这些都属于高低温交替变化的环境条件。高低温循环变化对设备的影响比仅仅是高温或低温的影响大得多, 对电子设备危害很大。

(2) 湿度 大气中有水蒸汽的微粒, 含水多少常用绝对湿度和相对湿度两种方法表示。

绝对湿度: 是指在一定温度下, 单位体积(1 dm³)空气中的含水量。绝对湿度 可用空气中所含水汽的压强表示, 单位是Pa。当空气中的水汽能凝聚成雾或小水滴时, 这种状态称为温度饱和状态。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1-3。

表1-3 温度饱和时单位体积空气中的含水量

温 度 (℃)	-20	0	20	40	60
单位体积(1dm ³)空气含水量(g)	0.001	0.005	0.017	0.051	0.13

相对湿度: 是指在一般温度下, 空气中实际含水量与饱和值之比, 常用百分率表示。这是在正常温度下(15~35℃), 正常的相对湿度为50%~80%。当相对湿度小于40%时, 空气可被认为是干燥的; 当相对湿度大于80%时, 空气被认为是潮湿的。

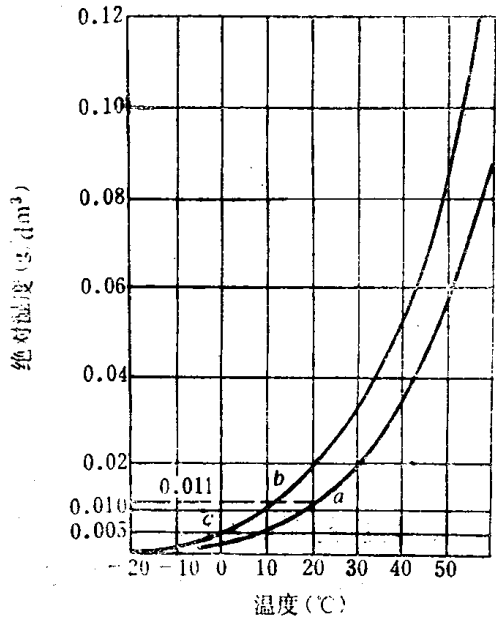


图1-1 空气湿度和温度关系曲线
【—】—饱和值的曲线; 【---】—相对湿度为66%的曲线

当空气的相对湿度大于65%时, 物体表面均附着一层厚度为0.001~0.01μm的水膜; 当空气湿度饱和时, 水膜厚度可增加到10μm。当相对湿度高于90%以上时, 湿度增高1%对电子设备的影响要比温度增高1~2℃的影响大。高湿度持续时间越长, 产生的影响越大。潮湿会引起金属腐蚀, 降低介质材料的绝缘性能, 严重时产品会失效或损坏。

空气的湿度与温度有密切的关系(见图1-1)。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。凝露对于密封设备尤为重要, 例如密封的空用设备内绝对湿度不

变, 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。如图1-1所示, 如在20℃时相对湿度为65% (曲线Ⅱ的a点), 当冷却到13℃时, 其绝对湿度并未改变 (仍为0.011g/dm³), 但相对湿度却提高到100%, 达到饱和状态 (曲线Ⅰ的b点), 再继续冷却就产生凝露。当温度降到0℃时 (曲线Ⅰ的c点), 每立方米空气中有0.006g水汽凝结成水滴。

我国东南区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%)。因此曾出现通讯机白天能正常工作, 而到夜间由于相对湿度大, 元器件参数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, 水汽对设备的影响就越大。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内部而造成危害, 因此高温高湿对材料的影响相当严重。特别是当湿、热在一定范围内交替变化时, 会加速材料吸潮和腐蚀, 造成严重后果。

(3) 气压 在地球的大气层中, 气压随高度增加而减小, 如表1-4所示。

随高度增加, 气压降低, 气体密度变小, 依靠空气对流的散热条件变差, 从而使设备温升提高。据测试, 在5000m以下, 每升高100m, 设备温升提高0.4~0.5%。

表1-4 气压、气温与高度的关系

近似海拔高度(m)	0	3000	3658 (拉萨)	5000	10000	17000	22000	27000	35000	45000	70000	100000
气压(Pa)	10×10^4	7×10^4	6.36×10^4	5.33×10^4	2.67×10^4	8530	4400	2000	670	133	6.66	2.3×10^{-2}
气温(℃)	15	-4.5	-10	-17.5	-50	-56	-56	-56	-50	4.5	20	-76.3

随高度增加、气压降低, 用空气作为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, 因碰撞电离困难, 抗电强度又有增加。据试验表明: 在30000m高空, 击穿电压比地面下降11倍; 在5000m以下, 每升高100m击穿电压降低1%。

低气压对设备的影响表现为: 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, 气密封设备机壳的内侧将受到压力作用, 机壳内外的压力差可达1个大气压(101325Pa)。在深水中, 气密封设备机壳的外侧将受到强大压力作用, 压力随着设备潜水深度而增加, 每10m深度约增加101325Pa。

(4) 盐雾 海水含有盐份。盐雾是由海水中的浪花和击岸时喷散或由于气流卷带海水中的盐份而形成的。盐雾颗粒直径在1~5μm范围内。

表达盐雾的数量特征有两种形式: 盐雾含量和盐雾沉积量。

盐雾含量: 是指单位体积(m³)海洋空气中的含盐量, 单位为mg/m³。

盐雾沉积量: 是指单位时间内 (时、日、月或年) 沉积在单位面积(m²)上的盐量, 单位如毫克/米²·天 (mg/m²·d)。对设备有直接影响的是盐雾沉积量。

盐雾对设备的影响, 主要是金属材料 and 金属镀层的腐蚀, 对某些绝缘材料也有影响, 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。它和空气中的水分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25~32℃、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、蟑螂和蜂等)。由于霉菌和昆虫的吞噬和繁殖,吸附水分和分泌有害物质,常引起腐蚀加强,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0.005~0.02 mm的灰尘,含量可达20~60mm³/m³。灰尘的成分主要是SiO₂(约占66~75%)、Al₂O₃(约占11~17%)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。灰砂进入设备后,会引起活动部分加速磨损并影响电性能。

(8) 日光照射 太阳光线中除可见光外,红外线约占50%,紫外线约占6%。红外线和紫外线如直接照射到设备上,将产生光化学作用使有机材料老化分解,油漆退色剥落。设备如长时间受日光照射会引起温度升高而过热。

气候条件对电子设备的影响,主要表现在电气性能下降、散热困难、运动部分失灵、结构损坏,甚至完全不能工作。这主要是因元器件和材料的参数在气候因素影响下发生变化,以及机械变形或损坏所造成。气候条件对元器件和材料的主要影响概括于表1-5中。

二、机械条件及其对电子设备的影响

电子设备在使用和运输过程中,要经受各种类型的机械作用。这些机械作用可以分为两类:一类是正常的机械磨损,是设备工作时所固有的。如各种机构和活动部分长期工作所产生的磨损,使设备寿命缩短。另一类机械作用是设备在运载工具中使用或处于运输过程中时,所承受的外界机械力作用。它有时是随机变量,可能造成严重后果。

这里所讨论的机械条件,就是外界对电子设备所施加的机械作用,它通常指振动、碰撞和冲击、离心加速度等机械作用。

1. 机械条件的特征

(1) 振动 振动是一种重复的交变力的作用,它使设备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,高速旋转物体的质量偏心,以及高速飞行器的空气动力作用。

表征振动的参数有:振幅(或位移幅值)、频率和振动持续时间。振幅有时也用加速度来表示,它们之间的关系为:

$$a = \frac{1}{250} \cdot f^2 A_0 \quad \text{或} \quad A_0 = \frac{250a}{f^2} \quad (1-1)$$

式中 a ——加速度(单位是(m/s²),常用重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$ 的倍数表示); f ——振动频率(Hz); A_0 ——单振幅(mm)。

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的叠加。其振幅

表1-5 气候条件对元器件和材料的主要影响

气候条件		影 响	结 果
高 温	高 温	材料软化 化学分解的老化反应 设备过热 润滑油粘度降低 金属膨胀不同 金属氧化加速	结构强度减弱 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, 紧固装置松动, 接触装置接触不良 接点接触电阻增大, 金属材料表面电阻增大
	低 温	材料变脆 油和润滑脂粘度增大 材料的收缩不同 元件的性能改变 密封橡胶硬化	结构的强度减弱、电缆损坏、蜡变硬、橡皮发裂等 轴承、开关等产生“粘滞”现象 活动部分被卡住, 插头、插座, 开关片等接触不良 铝电解电容器损坏, 石英晶体往往不振荡, 蓄电池容量降低, 继电器接点烧坏 气密设备的泄漏较大
	高低温循环变化	剧烈的膨胀与收缩产生内应力, 交替的凝露, 冻结与烘烤	加速了元件、材料的机械损伤和电性能变化
湿 度	高 湿	水蒸汽沉积 吸收水分 金属腐蚀 化学性质的变化 水在半密封设备中凝露	绝缘电阻降低, “导电小路”和飞弧出现, 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, 结构破坏等 结构强度减弱, 活动部分被卡住, 表面电阻增大, 电接触不良, 其它元件材料受到腐蚀物的沾污 材料发生溶解和变化 所有上列故障都可能出现
	干 燥	某些材料水分散失	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	材料毛细管的“呼吸作用”	加速材料的吸潮和腐蚀过程
气 压	高 气 压	气密设备中的应力	结果损坏、泄漏
	低 气 压	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 散电困难 冷焊	使击穿容易, 发生飞弧、电晕等现象增加 元件电参数发生变化 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	盐 雾	金属腐蚀 绝缘材料腐蚀	对含氧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 产生圆点, 表面电阻和抗电强度降低
	大气污染	金属腐蚀 化学性质的变化	某些塑料膨胀、损耗增大
生物危害	生物危害	霉菌、昆虫吞噬和繁殖 吸潮水分 分泌酶	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
	灰尘和沙	进入活动部分 静电荷增大 吸附水分	轴承、开关、电位器和继电器等损坏, 电接触不良 产生电噪声 降低元件、材料的绝缘性能
日 光	日光	设备过电 光化效应	元件损坏、着火 有机材料加速老化和分解, 油漆退色和剥落, 软橡皮发硬开裂, 抗张强度降低