

中等专业学校教材

无线电元件工艺基础

赵柏苓 编



上海科学技术出版社

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工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初,由于各有关院校,特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的紧密配合,共编审出版了教材159种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要,反映国内外电子科学技术水平,达到“打好基础、精选内容、逐步更新、利于教学”的要求,在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上,电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》,中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会,作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构,并制定了一九八二年到一九八五年教材编审出版规划,列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共217种选题。在努力提高教材质量,适当增加教材品种的思想指导下,这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿,主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编者、各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材,分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验,这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处,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

本教材系由中等专业学校电子类专业教材编审委员会元器件编审小组审定,并推荐出版。

本教材系由南昌无线电工业学校赵柏苓主编,4321厂刘体乾主审。编审者均依据元器件编审小组审定的编写大纲编写和审阅的。

本教材的参考教学时数为140学时。全书共分十章:第一、二章为环境条件对电子元器件的影响及防护方法;第三章介绍金属的腐蚀与防护;第四、五章介绍温度测量与控制、真空技术的基本知识;第六章至第八章对介质表面金属化和塑料、电子陶瓷工艺作了概略的介绍;第九章为表面分析的基本方法;第十章对电子元件可靠性作了初步介绍。

天津仪表无线电工业学校、上海第一仪表电子工业学校、淮阴电子工业学校、北京电子工业学校及江西4321厂的有关同志对本书的编写提出了许多宝贵意见,并给了很多帮助,这里表示诚挚的感谢。

编 者

目 录

第一章 电子元件的工作环境

第一节 电子元件的工作环境	1	第三节 电子产品的环境条件	10
第二节 环境条件及其影响	1		

第二章 气候环境及防护

第一节 防潮湿	12	第三节 防盐雾	27
第二节 防霉菌	25		

第三章 金属的腐蚀与防护

第一节 金属的腐蚀	28	第四节 金属在工作环境中的腐蚀	40
第二节 金属的化学腐蚀	30	第五节 防止金属腐蚀的方法	45
第三节 电化学腐蚀	36	第六节 防蚀覆盖层	49

第四章 温度控制和电热

第一节 温度的测量	58	第三节 电炉	80
第二节 温度的控制	70		

第五章 真空的获得与测量

第一节 真空的基本知识	88	第三节 真空的测量	107
第二节 真空的获得	99	第四节 真空系统	111

第六章 介质材料表面金属化

第一节 介质材料表面金属化	125	第三节 真空蒸镀法	131
第二节 烧渗银工艺	126	第四节 阴极溅射法	137

第七章 塑料工艺

第一节 塑料及其应用	140	第二节 热固性塑料的成型方法	143
------------------	-----	----------------------	-----

第三节	热塑性塑料的成型	147	第五节	塑料零件的设计	163
第四节	塑料的二次加工	159			

第八章 电子陶瓷工艺

第一节	电子陶瓷	167	第三节	陶瓷零件制造工艺	172
第二节	陶瓷原料	167	第四节	陶瓷零件的设计	184

第九章 表面分析技术

第一节	固体表面	186	第四节	表面相互作用所提供的信息	193
第二节	表面分析方法	186			
第三节	光电子能谱	188	第五节	常用表面分析仪器	194

第十章 电子元件的可靠性

第一节	可靠性	204	第三节	可靠性试验	216
第二节	常见的失效分布	211			

第一章 电子元件的工作环境

第一节 电子元件的工作环境

电子产品应用环境条件差别很大,除地面外,上至宇宙空间,下至深海,不同环境对电子产品的影响是不同的,研究环境条件及其对电子产品的影响对解决产品在贮存、运输和使用过程中的可靠性问题有重要的意义,同时也是产品可靠性设计的依据。电子元件是安装在整机上的,其工作环境与电子产品基本相同,故对电子产品工作环境的研究基本上也适用于电子元件。

一、我国的气候条件与气候区

根据我国的地理位置分布,气候条件可分为:热带、亚热带、温带、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,我国各气候区的气候状况见表 1-1。

从表 1-1 可以看出我国不同地区的气候条件有很大的差异。表中的气温是指离地面 2 米高、无阳光直接照射,且空气流通之处的空气温度。一般认为空气流通的室内环境相当这个条件。

我国极端最低气温是 -52.3°C (黑龙江省漠河,1969 年测得),最冷地区一月份的最低气温为 -48°C ,地面达 -53°C ;极端最高气温是 47.6°C (新疆吐鲁番,1956 年测得)。最热地区在阳光照射下,地面温度可达 75°C 。昼夜最大日温差,在干热地区可达 30°C ,如西藏的定日出现过 31.3°C ;沙漠地区日温差更大,可达 40°C 。

在我国东南沿海、西南地区的相对湿度较大,年平均值达 80%。长江以南出现相对湿度大于 90% 的天数,约占全年天数的 25% 以上。在长江以北和高原等地区的湿度较小,西北和高原的极小湿度可接近于零。

二、电子产品的工作环境

为了研究环境对电子产品的影响,需先搞清环境的类型及其特点。产品所处的环境有不同的分类方法,按自然条件分类,有干热、湿热、温和、寒冷、高原、海洋等;按产品存在的状况分类,有贮存、运输、使用等;按产品使用场所分类,有室内、室外、车辆、船舶、航天等;按环境主要因素的属性分类,有气候、机械、生物、电气等。环境因素按属性分类见表 1-2。

第二节 环境条件及其影响

一、气候因素及其影响

1. 温度 气候条件中的温度是指气象台站测候场地所设置的,离地面 1.2 米高的白色百页箱内放置的温度计上所测得的空气温度。地面或其他场所的实际温度,因受各种因素

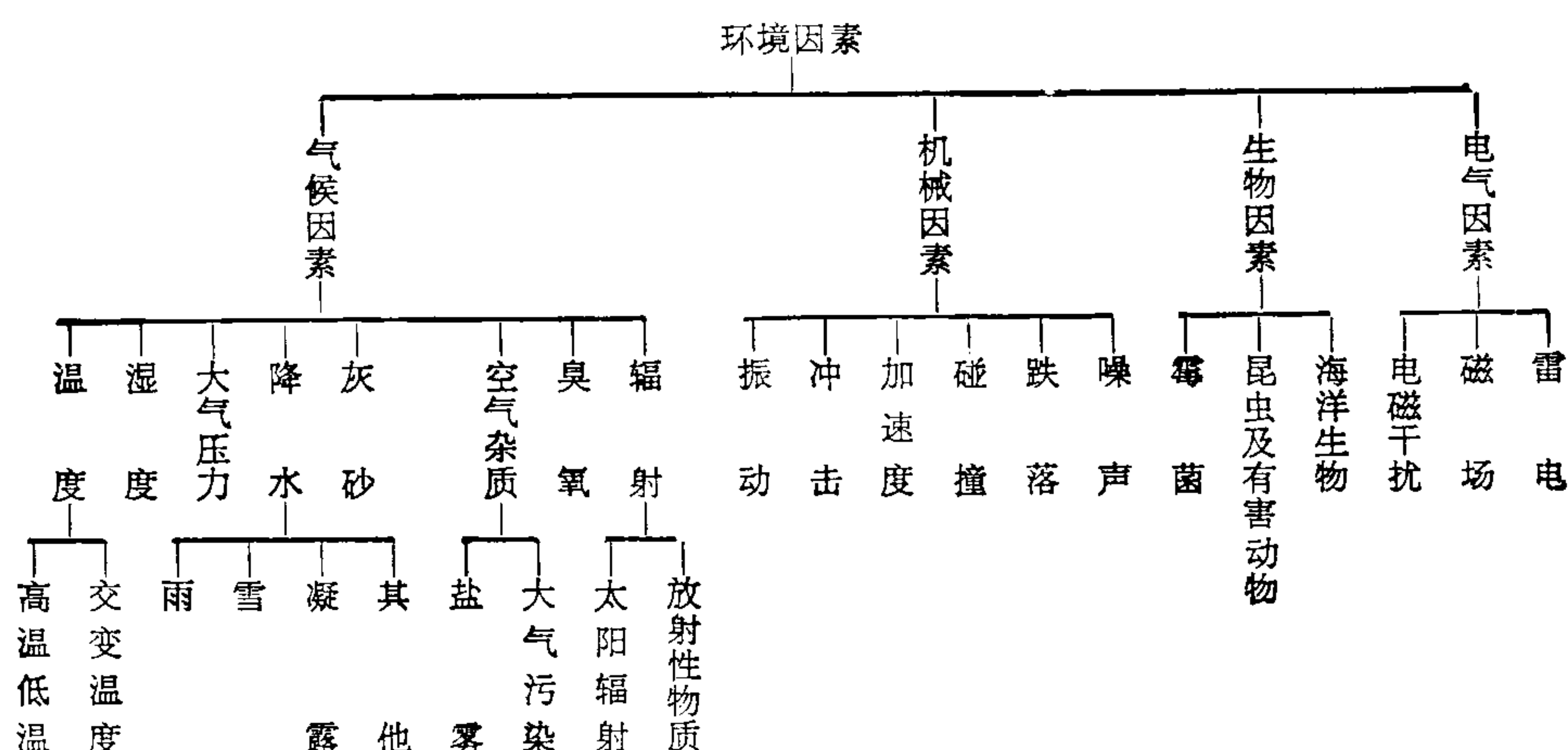
表1-1 中国无线电产品

气候带	气候区	地理分布	环境								
			气候								湿热月
			极端最高气温	极端最低气温	最热月平均最高气温	最冷月平均最高气温	日气温最大变化值	最热月最大相对湿度	最热月平均相对湿度	最热月最小相对湿度	
热带	湿热区	雷州半岛、海南岛、台湾南部	41°C	0°C	36°C	8°C	10°C	95% 同时气温大于30°C	90% 同时月平均气温大于25°C	50% 同时气温大于35°C	2~12个月
亚热带	亚湿热区	淮河流域以南、四川汉中盆地、台湾北部	47°C	-15°C	36°C	-5°C	25°C	95% 同时气温大于30°C	86% 同时月平均气温大于25°C	50% 同时气温大于35°C	1~3个月
	亚干热区	新疆天山以南、戈壁沙漠	48°C	-30°C	41°C	-20°C	30°C	80% 同时气温大于20°C	20% 同时月平均气温大于35°C	10% 同时气温大于25°C	
	高原区	海拔高度在2000m以上									
温带	温和区	淮河流域、东北中南部、黄河河套以东	46°C	大于-40°C	32°C	-26°C			30% 同时月平均气温大于20°C	5% 同时气温大于25°C	不到一个月
	干燥区	河套以西的内蒙古自治区、甘肃、青海、新疆北部	48°C	大于-40°C	35°C	-26°C		80% 同时气温大于20°C	15% 同时月平均气温大于25°C	5% 同时气温大于25°C	0
寒带		黑龙江省内蒙古自治区北部	35°C	-50°C	25°C	-35°C		60% 同时月平均气温大于25°C			

气候分区综合表

条 件										极端情况举例	气候试验项目	
因 素								腐蚀因素	生物因素		设备	元件
干热月	强烈辐射	露	砂尘 (大于60天)	暴雨 100mm/h	强烈寒风	严重冰冻	含盐空气	霉菌	昆虫			
0	至少连续一个月	有		有			沿海	有	有	1. 春夏季相对湿度常达100%。曾出现过相对湿度100%,当时气温23~28°C,连续16小时。 2. 台湾阿里山一日暴雨量曾达1164毫米	B级	E级
0	有	有		有			沿海	有	有	海上浓雾连续达10多天之久	C级	F级
	至少连续一个月	冬季有	有	有		有				1. 新疆吐鲁番盆地最高气温曾达47.8°C。 2. 新疆且未风砂日数全年达51天;甘肃张掖达57天。 3. 若羌一年雨量仅5毫米	D级	F级
						有				1. 黑河海拔高度为4000m,平均气压为5~5.9×10 ⁴ Pa(仅为标准气压60%)。 2. 拉萨地区全年太阳辐射在781J/cm ² ·年		
0		有		有		有	沿海					
不到一个月	至少连续一个月	有	有	有		有						
		有				有				黑龙江免渡河最低气温曾达-57°C		

表 1-2 环境因素分类表



的影响与百页箱中空气的温度是不同的。白天地面受阳光照射,其温度要较气温高得多;晚上地面热量散失快,其温度要比气温低。如表 1-1 中我国最高温度为 48°C ,该处实际地面温度可达 70°C ;最低温度为 -51°C ,实际地面温度可达 -65°C 。

大气的温度通常与海拔高度有关,从地面到 12000 m,气温逐渐降低。温度平均递减率是:从地面到 1500 m 为 $0.4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;从 1500~5000 m 为 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$;5000 m 以上为 $0.6\sim 0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。12000~35000 m 以上为同温层,是温度大体不变的低温层,最低温可达 -80°C ;再向上为电离层。此后温度随高度增高而升高,在 50~60 公里处最高温度可达 $+80^{\circ}\text{C}$ 。

环境温度的变化,在昼夜温差不大的地区一般缓慢升降。但在某些地区,如沙漠,则昼夜温差很大,温差可达 40°C 。在严寒地区,室内和室外的温差很大,设备从室内移到室外或从室外移到室内,温度在很短的时间内有很大的变化,使设备受到温度冲击作用。飞机在起飞或降落期间,温度的变化也很大。另外航天器(飞机、洲际导弹、人造卫星等)在高速飞行时,尤其是洲际导弹或卫星重新进入大气层(再入段)时,与空气激烈摩擦产生的温度可达摄氏千度以上。飞机连续起飞降落时,设备要受到温度循环作用。

电子设备的外部温度除与环境温度有关外,还取决于运载工具的状况。在运载工具热绝缘不好时,设备的温度主要取决于环境温度;在热绝缘良好且有空调时,则与环境温度的关系的关系较小或无关。飞行器再入大气层时,虽与空气激烈摩擦的部位的温度极高,但由于设计时采取了各种散热和绝热措施,飞行器内部的温度并不高。对于装置在有空调装置机舱内的设备,可以与在正常的环境下工作的设备具有同样的要求。

温度对电子设备的影响有高温、低温和高低温循环三种。

高温时,元器件的参数和性能要发生变化。在调谐和振荡回路中,线圈和电容器的电感和电容量的改变造成谐振频率漂移,使设备性能变坏甚至不能工作。高温可使设备过热,造成元器件损坏,焊点脱开等。

很多材料在高温时软化,导致零部件变形,强度降低或损坏。高温将加速有机材料的老化使其性能恶化并降低其使用寿命。对于金属材料,高温将加速其氧化过程,使金属的表面电阻增大可导致开关、电接插件、继电器等元件的电接触不良、跳火等。

半导体器件对温度的反应很敏感,温度过高会使其性能变坏,如工作点漂移,放大倍数

改变,反向电流增大,产生热击穿等。

温度升高使电阻器的允许耗散功率下低,使用寿命降低。例如 RTX 型碳膜电阻只有在 40℃ 以下的环境温度中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。另外温度升高可造成电阻器的噪音增大、阻值变化等不良影响。

温度对电容器的寿命有很大的影响,通常认为,在超过规定允许温度时,每升高 10℃,电容器的寿命就要降低一倍。此外,温度升高还能造成电容器的电容量变化,损耗增加等。

对于电感器件,高温除使其电参数发生变化外,对其使用寿命也有很大影响。一般认为,每超过其额定工作温度 10~12℃,其寿命也要降低一倍。表 1-3 列出了常用元器件和绝缘材料的允许工作温度。

表 1-3 几种元器件和绝缘材料的允许温度(℃)

元器件名称	表面允许温度	元器件名称	表面允许温度	材料名称	最高工作温度
变压器	95	电解电容器	60~85	环氧树脂	140
扼流圈	95	薄膜电容器	60~130	有机硅树脂	180
碳膜电阻	120	云母电容器	70~120	聚苯乙烯	70
金属膜电阻	100	陶瓷电容器	80~85	介质有机玻璃	78
体积碳膜电阻	150	玻璃陶瓷电容器	200	硬橡皮	80
钎膜电阻	200	锗晶体管	70~100	聚氯乙烯	85~90
印刷电阻	85	硅晶体管	150~200	浸渍棉织品	110
压制线绕电阻	150	硒整流器	75~85	聚酰胺(尼龙)	140
涂釉线绕电阻	225	电子管	150~200	人造云母	130
纸介电容器	78~85			聚四氟乙烯	250

低温时,元器件的电参数也要产生变化,例如电解电容器的电容量降低、损耗增大。低温使很多材料变硬、变脆,机械强度降低。橡胶件低温变脆可造成橡胶密封泄漏等。

高低温循环变化使材料产生膨胀和收缩,造成元器件的机械损伤和性能变化,其影响往往比单纯的高温或低温更大。

2. 湿度 大气中水蒸气的含量用绝对湿度与相对湿度来表示,相对湿度较为常用。

绝对湿度是指在一定温度时,单位体积空气中的含水量。绝对湿度可用每立方分米含水的克数来表示;也可以用空气中水蒸气的压强表示。

在一定温度下,空气中能含有最大水蒸气的量是一定的,超过这个数量,水蒸气即凝结成雾或水滴,达到这个状态时称为湿度饱和状态。温度不同,饱和状态时的含水量就不同。温度愈高,饱和时的含水量愈多。不同温度时,湿度饱和时的绝对湿度见表 1-4。

表 1-4 湿度饱和时单位体积空气中的含水量

温 度 (℃)	-20	0	20	40	60
单位体积含水量 (g/dm³)	0.001	0.005	0.017	0.051	0.13

相对湿度是指在一定温度时,空气中实际含水量与饱和时的含水量之比,用百分率表示。在常温下(15~35℃),正常的相对湿度为 50%~80%。当相对湿度大于 80% 时,空气被认为是潮湿的;当相对湿度小于 40% 时,空气被认为是干燥的。

相对湿度的大小,除与空气中的含水量有关外,与温度也有密切关系。在绝对湿度不变

的情况下,相对湿度随温度的升高而降低;随温度的降低而升高。湿度与温度的关系见图1-1,图中I为饱和值曲线,II为相对湿度65%时的曲线。

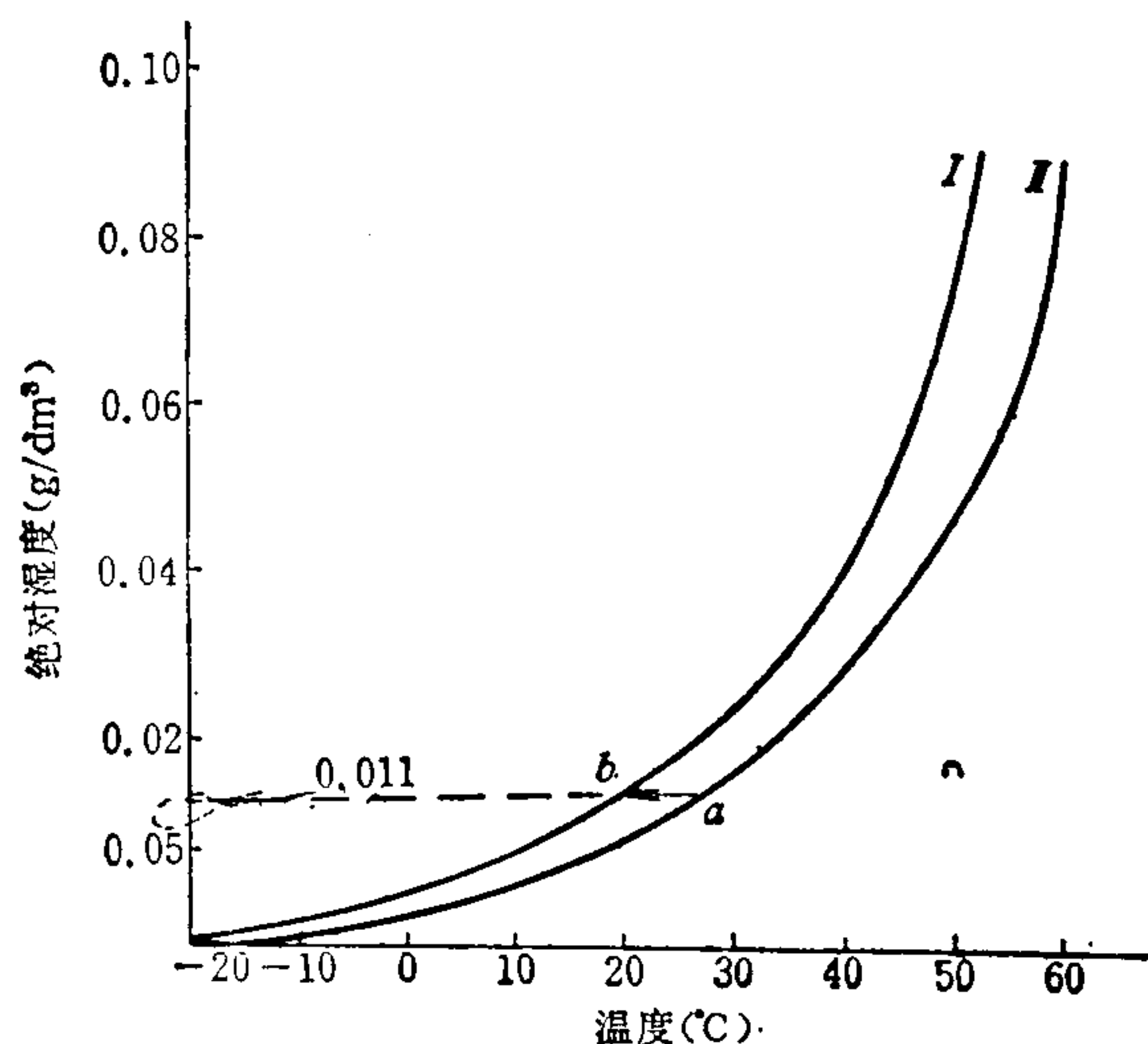


图1-1 湿度与温度的关系

相对湿度为100%时的温度称为露点。温度达到露点后,如温度再降低或空气含水量再增加时,水蒸气就凝结成小水珠——凝露。这一现象在电子设备中常会产生,例如存放在相对湿度为65%,温度为20°C室内的电子设备,当移到温度为13°C的室外时,其内部的绝对湿度没有变,当设备内部温度降为18°C时,相对湿度已增加到100%——达到露点,温度再降低即有凝露产生,其过程如图1-1所示。先由a→b,再沿曲线I降到13°C的c点,此时每立方分米的空气中即有0.006克的水蒸气凝结成水珠。在室内,昼夜间也存在温差。绝对湿度虽相同,白天温度较高相对湿度可能在80%以下;夜间温度降低,相对湿度可以高到100%,从而产生凝露,使元件参数发生变化,一些设备有时白天工作正常,夜间发生故障,可能就是由于这个原因造成。

当湿度大于65%时,物体表面附着一层0.001~0.01 μm的水膜,湿度愈大水膜愈厚,湿度为100%时,水膜可达10 μm厚。

在潮湿的环境中,水分子不仅附着于材料表面,并能侵入材料内部,使材料的性能恶化。如使介质材料的绝缘电阻、击穿电压降低,介电常数改变;使金属材料腐蚀等。高湿的时间愈长影响愈大。由于在高温时水的蒸气压升高,材料的间隙增大,故水分子更易侵入材料内部,因此在高温、高湿(湿热)的环境中,其危害性较单一因素的影响要大得多。在自然环境中,温度和湿度都不是恒定的,而是在一定范围内变化。湿热交替变化会加速材料的吸湿和腐蚀过程,其影响更大。

3. 低气压 大气压力随海拔高度增加而降低,其关系如表1-5所示。

表1-5 气压与高度的关系

高度(km)	0	0.5	1	2	3	4	5	10	20	30	45
气压(kPa)	100	94	88	78	69	63	53	26	5.4	1.1	0.15

大气压力降低,空气的密度也随之减小,使设备靠对流散热的能力变差,温升提高。在5000 m以下,每升高100 m,设备温升提高0.4~0.5%。

气压降低,空气以及绝缘材料的抗电强度也要降低。在5000 m以下,每升高100 m,抗电强度下降1%;在30,000 m高空,抗电强度反而升高。这是因为在空气稀薄的条件下,气体碰撞、电离都较困难所致。

低气压主要造成元器件的抗电强度降低,容易击穿,产生飞弧、电晕现象,灭弧困难等。

密封的元器件、气密设备和密封仓等在低气压的环境中使用,机壳内外要产生压力

差,其数值可达一个标准大气压,如外壳的强度不够或密封不良,则可使其气密性被破坏。

4. 太阳辐射 太阳辐射到地球大气层顶界时,其辐射强度为 $7.29 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{h}$, 经过大气吸收、云层反射等,到达地面时已大为减弱,一般地区为 $5.87 \text{ J/cm}^2 \cdot \text{h}$ 。在高原地区由于海拔高,大气较透明,故太阳辐射强度较大。影响太阳照射强度大小的因素除高度外,还与大气条件(灰尘、污染物等)、阳光进入的角度、纬度、季节等因素有关。

到达地面的太阳光中,紫外线(波长小于 $0.4 \mu\text{m}$)不到 1%,可见光(波长为 $0.4 \sim 0.76 \mu\text{m}$)为 50%,其余为红外线(波长大于 $0.76 \mu\text{m}$),但在大气层外,紫外线可达 6% 左右。

紫外线在太阳光中所占的比例虽小,但它对电子产品的影响最大。紫外线能使有机材料老化、性能变劣、寿命缩短。红外线会使产品温升增加,引起有机材料的热老化和电子设备过热。

5. 大气污染 大气污染主要发生在城镇、工业区、厂矿,运输车辆排出的各种废气、煤烟及微尘中常含有二氧化硫、硫化氢、氨、氯等成分。在潮湿的条件下,它们形成腐蚀性或导电性的物质。这些物质能使金属材料腐蚀,绝缘材料的绝缘电阻降低。

6. 盐雾 盐雾是海风吹卷海水和海浪冲击海岸喷溅时,由气流卷入空中形成。盐雾中含有大量盐分,颗粒直径约为 $1 \sim 5 \mu\text{m}$ 。盐雾的沉积量用单位时间内沉积在单位面积上的盐量来表示。在我国东南沿海的沉积量达 $3.4 \times 10^{-4} \sim 7.5 \times 10^{-3} \text{ mg/m}^2 \cdot \text{月}$ 。空气中的盐雾用盐雾含量来表示,盐雾含量是指单位体积内空气中的含盐量,单位是 mg/m^3 。

盐雾主要发生在沿海地区,也可以随风深入到陆地 $30 \sim 50 \text{ km}$ 处。

盐雾的影响大小和空气的湿度状况有密切关系。空气干燥时盐粒的影响极微;在潮湿空气中,盐粒溶解于水中具有腐蚀性和导电性。盐溶液中的氯离子的直径较小,可穿透和破坏金属表面的镀层或保护膜,造成金属的腐蚀。盐雾附于绝缘材料表面使其绝缘性能变劣。

7. 灰砂 大气中存在许多灰砂、粉尘,主要由砂土、工业粉尘等微粒组成,其颗粒大小为 $1 \sim 150 \mu\text{m}$ 。我国西北等干燥地区砂尘的影响较为严重。

灰砂沉积在电子产品表面时,会因灰砂吸附的潮气而破坏材料的绝缘性,当灰砂中含有酸性或碱性腐蚀性物质时将引起金属的腐蚀。灰砂进入可动部件后,会引起零件的磨损。

总的说来,气候因素对电子元器件及材料的影响见表 1-6。

二、机械因素及其影响

电子设备在使用和运输过程中,会受到各种动力环境的影响,如振动、冲击、加速度、离心力等各种机械力的作用。这些机械力有时是随机的变量,能造成设备的故障或损坏。

1. 机械因素

(1) 振动 设备在外力作用下,产生周期性的往复运动(简谐振动)叫振动。振动源主要是运载工具的发动机,高速飞行器的空气动力作用等。

表征振动的参数有振幅、频率和振动持续时间。振动有时也可用加速度来表示,它们之间的关系是:

$$a = \frac{1}{250} \cdot f^2 \cdot A$$

式中, a 为加速度(单位为重力加速度 $g=9.8 \text{ m/s}^2$; f 为振动频率(Hz); A 为单振幅(mm)。

表 1-6 气候因素对电子材料及元件的主要影响

气候因素		影 响	结 果
温 度	高 温	材料软化; 化学分解和老化; 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	材料变脆; 润滑油、脂粘度增大; 材料收缩不同; 元件的性能变化; 密封橡胶硬化	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“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; 气密设备的泄漏率增大
	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、冻结与蒸烤	加速元件、材料的机械损伤和电性能变化
湿 度	高 湿	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	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; 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; 上列故障物可能发生
	干 燥		材料、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	结构损坏、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; 散热困难;冷焊	容易产生击穿、高电压的飞弧、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		金属腐蚀; 绝缘材料电阻降低	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		金属腐蚀; 化学性质的变化	某些塑料膨胀,介质损耗增大
霉 菌		霉菌吞噬和繁殖; 吸附水分; 分泌酶	所有有机材料和部分无机材料强度降低、甚至破坏,活动部分阻塞; 元件材料表面绝缘电阻降低,介质损耗增大; 金属腐蚀
灰尘和沙粒		进入活动部分; 静电荷增大; 吸附水分	轴承、开关、电位器和继电器损坏、接触不良、产生电噪声; 降低元件、材料的绝缘性能
日 光		设备过热; 光化效应	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,抗强强度降低
大 风		对天线、结构产生应力	结构损坏

设备所受到的振动往往不是单一频率,而是许多振动频率的叠加。实际情况较为复杂,要根据具体情况来确定其条件。

(2) 碰撞和冲击 碰撞和冲击是一种不规则的瞬时作用于设备上的外力。如果这种外力具有重复性,次数较多,加速度不大,则称之为碰撞,如飞机的降落,车辆在崎岖的路面上行驶时所出现的瞬时外力;如果这种外力不经常出现,次数少,加速度大,则称之为冲击,如设备的跌落、车辆的碰撞或急刹车等所出现的瞬时外力。

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,加速度愈大,破坏作用愈大。其单位为重力加速度 g 。

冲击持续时间反映冲击的破坏性大小,冲击力作用时间越长,冲击能量越大,对设备的破坏力也越大,其单位为 ms 。由于破坏有积累作用,因此冲击总次数也是一个重要的参数。

(3) 离心加速度 在运载工具转弯或作曲线运动时所产生的加速度,其单位为重力加速度 g ,其大小同样表征设备受力作用的大小。

表 1-7 某些运载工具的振动、冲击和离心加速度

运载工具类别		振 动		冲 击		离心加速度 (g)
		最大振动加速度 (g)	振动频率 (Hz)	最大冲击加速度 (g)	冲击持续时间 (ms)	
火 车		1.25	2~80	25~30 (一般为 7~8)	20	
汽 车		5.3 (一般在 3 以下)	2~200	50 (一般为 7~10)	10	
坦 克		5~6 (一般在 3 以下)	5~300	100~120 (发炮时为 200)	10	
飞 机	低 速	10 (一般在 4~5)	5~500	正常时 4~8 特殊时 25~30 发炮时 50~70	10 以内	6
	高 速	15 (一般为 5~10)	5~2000			9~12
舰 艇	潜 艇	2.5 (一般在 1 以下)	5~50 (有时还低)	10~100	10 以内	
	一般舰艇	2.5 (一般在 1 以下)	5~50 (有时还低)	10~80		
导 弹		15	10~2000	75~80	6	45~50
卫 星 宇宙飞行体		20	10~2000	起动时 200 喷发推动 1000	2~6	
携带式设备		1~4	2~80	20~75		
设备从 1.5 米高 处跌落到木地板				300	1	
炮弹爆炸处一 米范围内				1000	0.1~0.2	

一些运载工具的机械因素的数据见表 1-7。

2. 机械因素对电子设备的影响 在外界作用力的作用下,设备构件会产生变形、移位。当外力超过构件的强度时,可造成破裂损坏。具体的表现可有以下几个方面:

① 振动可引起各种紧固件松脱、断裂。如电子元器件的螺钉、螺母等因振动造成断裂、松脱、焊点脱焊等,不仅可使构件脱开并可造成电路的开路或短路,使设备不能正常工作或损坏。

② 导线、电容器片的移位使电容量产生变化。磁芯的移位,使电感量变化。这些都可造成调谐回路失谐。空气可变电容器片子随外力振动时,引起振荡频率周期性变化。

③ 插头座、开关、继电器,微调电容及电位器等电接触元件,振动能造成接触不良或不能接触,甚之使继电器错误动作,造成设备工作不正常或失效。接点时通时断会产生火花,使接点烧毁。

④ 当振动频率与零件的固有频率相同时,引起谐振,破坏性更大。构件在长期振动下,易产生疲劳破坏。设备长期受振动所引起的破坏,要较受冲击所引起的破坏严重得多。在通信设备中,由于振动造成的损坏率为冲击所造成的四倍,能经受 $50\sim 70g$ 冲击的元器件,最多能承受 $2\sim 3g$ 的持续振动。

⑤ 应力和疲劳都可以加速金属的腐蚀,振动时产生的机械噪声能干扰设备的正常工作。

据统计,各种机械力造成的损坏中,阻容元件占 50% 以上;紧固件约占 11%。因此,在元器件的设计和制造中必须考虑到机械力的破坏作用,以提高设备的可靠性。

三、生物因素及其影响

危害电子产品的生物主要有:霉菌、昆虫和其他一些动物。

霉菌的生长发育须具备三个条件:即温度、湿度和有机养料。在温度为 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $80\sim 90\%$ 无阳光照射的环境中最适宜霉菌的生长。产品表面上的灰尘、手汗等污染物,都可能生长霉菌。

霉菌的分泌物会污染产品外表,影响外观,并可引起金属腐蚀。霉菌含有水分,在其代谢过程中分泌出二氧化碳、有机酸等酸性物质,会使绝缘材料的抗电强度、绝缘电阻降低。

白蚁、蜂、蟑螂、鼠、蛇、鸟等动物,对产品的破坏有多种多样的情况,如咬穿塑料及铅包电缆;蜂类可咬穿架空线包皮,白蚁可蛀空铅包电缆,鼠类可咬坏塑料线等。

第三节 电子产品的环境条件

各种电子产品都在某种环境下使用,因此,要根据所处的实际环境状况和对产品工作可靠性的要求来制定产品的环境条件。按照我国的情况,产品的使用环境条件分为一般、湿热、干热、高原、船舶、车辆等。

1. 一般产品的使用环境条件 一般产品使用条件是指应用在海拔低于 1000 m ,最高温度低于 40°C ,最低温度高于 -40°C ,相对湿度在 90% (25°C) 以下的环境。最低温度选在 -40°C 的产品在全国范围基本上可以通用,但也可以根据具体情况另行确定。如使用在长江以南地区的产品可选 -10°C ; 使用在长江以北,沈阳以南的产品可选用 -25°C 等。我国

陆地海拔在 1000 m 以下的地区约占全国面积 35%，2000 m 以下约占 65%。在设计产品时，如能将适应的海拔提高，使一般条件的产品能在国内更广大的地区使用是很有意义的。

2. 在湿热带使用产品的环境条件 一天内有 12 个小时以上的气温等于或高于 20°C ，相对湿度等于或大于 80% 的天数，全年累计在两个月以上的地区称为湿热带。处于湿热环境的产品，经常受到高温、高湿的共同作用，只有采取一定的防护措施才能使其正常工作。

3. 在干热带使用产品的环境条件 年最高温度在 40°C 以上并常期处于低湿度的地区称为干热带。

干热带的气候特征是高温伴随低湿，气温日变化大，日照强烈且有较多的砂尘。干热带湿度额定值为 10% (40°C)；空气最高温度为 45°C 。为了提高电子产品的可靠性，空气的最高温度取 50°C 。

4. 在高原使用产品的环境条件 海拔高度超过 1000 m 的地区称为高原地区，其特征是气压、气温、绝对湿度随高度的增加而减小，而太阳辐射则随高度的增加而增加，其日温差也较大。

5. 其他使用环境条件 除上述使用环境条件外，电子产品还可能应用于其他各种环境条件中，故应根据所处环境的特点采取防护措施以保证产品的可靠性。如在车辆上使用的产品，因其流动性大，除考虑温度、湿度等因素外，还要考虑机械因素的影响；在船舶上使用的产品要考虑盐雾等因素的影响。

第二章 气候环境及防护

第一节 防 潮 湿

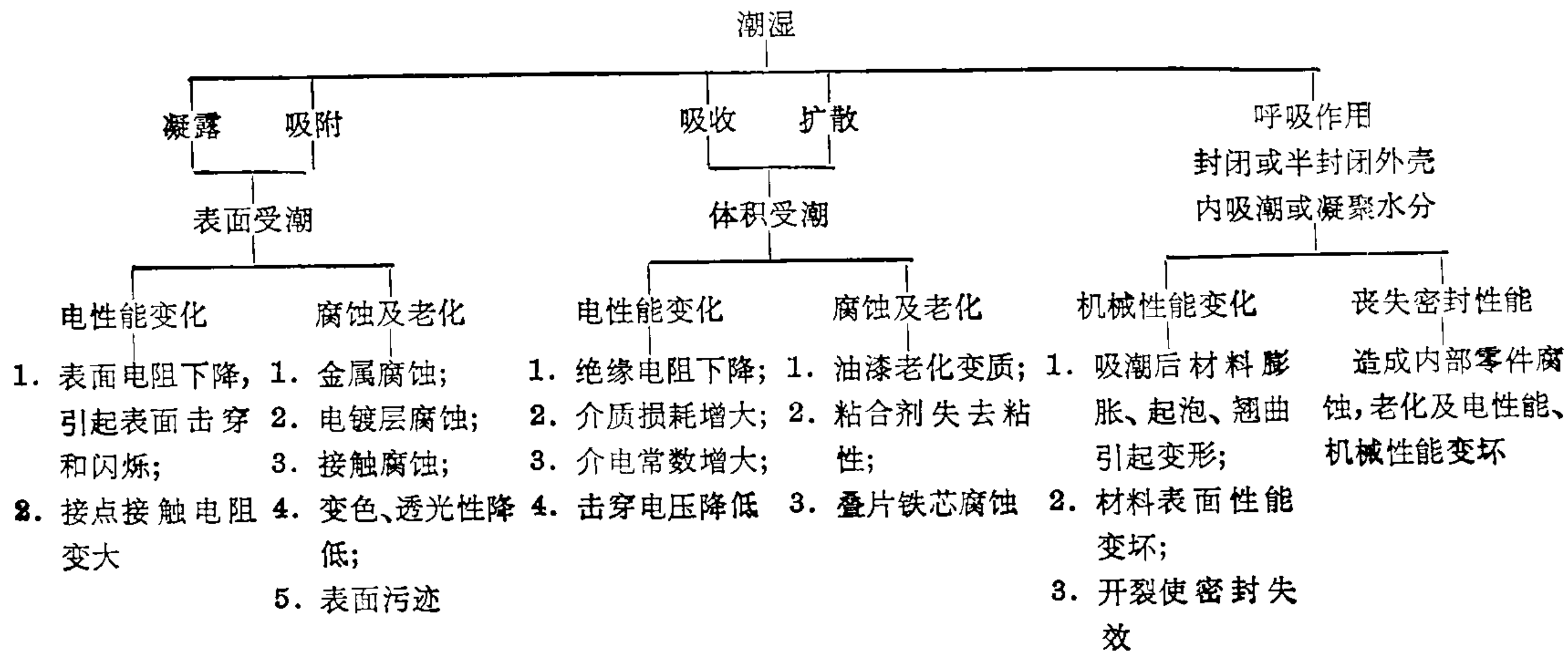
一、潮湿对电子产品的影响

各种恶劣的气候条件都会造成电子产品的损坏,但从损坏的原因来分析,其中以潮湿的危害性最大。

1. 使介质材料性能恶化、损坏 一些吸湿性较强的材料,如绝缘纸、电容器纸、纺织纤维、酚醛塑料制品等,吸湿后产生膨胀、变形、强度降低甚至造成机械损坏。水分吸附在材料表面或渗入内部使材料的电导率增加,体电阻、表面电阻降低,介质损耗增大等,使介质材料的性能变坏而失去应有的作用。

2. 使电子元件的参数变化 电子元件吸湿后其电气参数要发生变化。如云母电容器、纸电容器等吸湿后其电容量将增大;电阻器受潮后其电阻值要降低;高频线圈潮湿时分布电容增大, Q 值降低。

表 2-1 潮湿对电子材料的影响



3. 使金属材料腐蚀 潮湿使金属材料腐蚀或加快腐蚀速度。

4. 霉菌 潮湿环境利于霉菌生长。

潮湿使材料受潮的途径与危害作用如表 2-1 所示。

二、去除物体中的潮气和水分的办法

1. 潮气侵入物体的途径 处于潮湿环境中的物体要受到潮气的影响,影响的程度与湿度的大小、受潮的时间、温度状况和物体本身的性质等因素有关。物体受潮有一般以下几个途径: