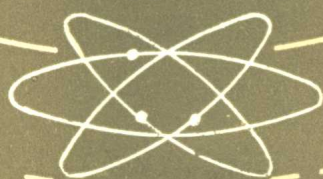


高等学校教材

电子设备结构设计原理

第一册

赵惇爻 李家樾 肖伟 编著



江苏科学技术出版社

高等学校教材

电子设备结构设计原理

第一册

赵惇爰 李家樾 肖伟 编著

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书为高等学校“电子设备结构”专业教材，已出版过第一版。本书根据1983年元月审订的教学大纲修订。

全书共五篇，分成两册出版。第一册为热设计和电磁兼容性结构设计；第二册为振动与冲击隔离，腐蚀与防护设计、机柜机箱结构设计与造型。另外，第二册书后放了全书附录。本书是第一册，内容为热设计和电磁兼容性结构设计两篇，共十章。叙述了电子设备热设计和电磁兼容性结构设计的基本理论和设计原理，同时介绍了这些基本理论在电子设备结构设计中的应用以及结构设计的原则、方法和步骤。

本书除作为高等学校“电子设备结构”专业教材外，还可供从事电子设备结构设计的工程技术人员和科研工作者参考。

高 等 学 校 教 材
电子设备结构设计原理(第一册)

赵停父 李家樵 肖 伟 编著

江苏科学技术出版社 出版

江苏省新华书店 发行

苏 州 印 刷 厂 印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 15.25 插页 2 字数 369,000

1986 年 1 月第 1 版 1986 年 1 月第 1 次印刷

印数 1—4,210 册

书号 15196·140 定价 2.93 元

责任编辑 许顺生

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1977年底到1982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1982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1982~1985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,主要是通过教学实践,从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。广大编审者,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、广大教师和学生积极提出批评建议,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

本书第一版是按照1978年3月原第四机械工业部召开的“高等学校工科类专业统编教材”会上拟订的《电子设备结构设计原理》大纲编写的。自第一版问世以来,很多大学、研究所和工厂对电子设备结构的研究兴趣日渐浓厚,根据有关院校近年来的教学实践和科研、生产发展的需要,感到有必要对本书进行修订。在电子工业部的领导下于1983年元月在南京召开了该教材编写大纲讨论会,讨论了“电子设备热设计、电子设备电磁兼容性结构设计、电子设备振动与冲击隔离、电子设备腐蚀与防护设计及电子设备机柜机箱结构设计及造型”等五本教材的编写大纲,经电子机械教材编审委员会审定通过并按此大纲进行编写。全书共五篇,分两册出版。

第一册为:

电子设备热设计——介绍温度对电子设备性能的影响及其控制的措施。由西北电讯工程学院赵惇父编写,成都电讯工程学院陈日景审阅;

电子设备电磁兼容性结构设计——介绍电磁干扰对电子设备性能的影响及其抑制的措施。由北京邮电学院李家桢、南京邮电学院肖伟编写,南京工学院吕仁清、蒋全兴审阅。

第二册为:

电子设备振动与冲击隔离——介绍振动、冲击对电子设备性能的影响及其隔离的措施。由南京工学院鲁守来编写,北京邮电学院王静宇、张兴准审阅;

电子设备腐蚀与防护设计——介绍金属腐蚀、潮湿、霉菌对电子设备性能的影响及其防护措施。由南京工学院卢世济编写,北京邮电学院章继高审阅;

电子设备机柜机箱结构设计及造型——介绍电子设备机柜机箱的设计原则、方法、步骤,机柜机箱的造型以及人机工程学在设计中的应用。由南京工学院邱成悌编写,北京邮电学院沈惠源审阅。

绪论由西北电讯工程学院赵惇父编写,南京工学院谢德仁审阅。

在本书编写时,我们力求贯彻理论联系实际的原则,既阐述有关的基本理论和基本原理,又介绍这些理论和原理在结构设计中的应用,同时也适当地反映了一些先进的科技成果。为了巩固和加深对教材内容的理解,书中附有部分计算例题。

本书基本上采用中华人民共和国法定计量单位。

本书编写过程中,有关单位提供了宝贵资料和意见,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限,误漏欠妥之处在所难免,竭诚欢迎广大读者提出批评指正。

编 者

1984.11

主 要 符 号 表

A 吸收率, 振幅, 设备的长度, 屏蔽效果, 衰减, 吸收损耗, 原子量	H 高度, 通风机全压, 磁场强度
A_0 基础振幅	H_i 放大因子
A_{dB} 屏蔽效果(dB 计量)	Hz 赫兹
A_N 屏蔽效果(N_e 计量)	Δ_{H2} 局部阻力损失
A_t 波导管的衰减量	Δ_{H1} 沿程阻力损失
α 导温系数, 流量系数, 减振器安装位置离重心的水平距离(x 方向), 橡皮密封垫圈的宽度, 箱壳侧壁长度, 活度	h 高度, 气体扩散距离, 减振器重心与设备重心之间的距离
B 振幅, 设备的宽度, 磁感强度, 导轨宽度	h_0 非标准大气压(毫米汞柱)
B_1 明亮部分的亮度	h_1 橡皮密封垫圈压缩前的高度
B_2 黑暗部分的亮度	h_2 橡皮密封垫圈压缩后的高度
b 宽度, 减振器安装位置离重心的水平距离(y 方向)	I 电流, 复量电流的模量
C 比热, 电容, 亮度的对比度, 离子浓度	$\dot{I}$ 复量电流
C_0 黑体辐射系数	I_{max} 最大腐蚀电流
C_H 氢离子浓度	I_0, I', I_x, I_y, I_z 转动惯量
C_{OH} 氢氧离子浓度	I_y, I_z 惯性矩
C_{OX} 氧化态物质浓度	I_K 截面自由扭转时的惯性矩
C_{re} 还原态物质浓度	I_W 截面对于扭转中心的主扇性惯性矩
c 阻力系数, 弹簧指数	i 瞬态电流, 电流密度
c_1, c_2, c_3, c_4 积分常数	i_x, i_y 惯性半径
c_c 临界阻力系数	j 虚轴单位矢量
D 直径, 穿透率, 阻尼比, 眼睛到物体的距离	K 传热系数, 储备功率数, 渗透率, 曲度系数, 金属腐蚀速度, 干扰系数, 串音系数
d 直径, 金属密度	K' 金属腐蚀速度
dB 分贝值	K'' 金属腐蚀前后延伸率的改变
E 辐射力, 弹性模量, 隔振效率, 能, 电动势	K_c 接触传热系数
e 偏心距, 电子电量, 电势, 电压的瞬时值	k 弹簧刚度
F 力, 法拉第常数	k_1 与材料牌号、状态和弯曲线与材料轧制纹向相对位置有关的折弯系数
F_d 阻尼力	k_2 与弯曲角度有关的折弯系数
f 固有频率, 摩擦系数, 变形量	k_d 动刚度
f_c 截止频率	k_{sh} 冲击刚度
G 重量流速, 剪切弹性模量	k_x, k_y, k_z 弹簧刚度
Gr 格拉晓夫数	L 长度, 蒸发潜热, 电感
g 重力加速度, 屏蔽板缝隙宽度	l 长度
	M 互感
	m 质量, 系数

$\dot{m}$ 质量流量	的阴极和阳极电位差
N 应力循环次数,信噪比,串音衰耗,防卫度当量浓度	V_0 阴极和阳极起始电位差
N_{dB} 声强级	V_i 蒸发水量
N_{cP} 奈比值	$\dot{V}$ 复量电压
N_f 液体品质因数	v 速度
Nu 努谢尔特数	W 宽度,重量流量
N_{max}, N'_{max} 传递力幅	w 速度
n 转速,倍数,安全系数,螺钉数目,离子价数,线圈匝数	X 振幅
n_0, n_1, n_2 弹簧圈数	Y 振幅
n_b 动刚度系数	y 导轨的最大动力挠度
$[n]$ 许容安全系数	z 振幅,阻抗,波阻抗,复量阻抗的模
P 压力,重力,计算换热器辅助量,功率	设备位移
P_A 阳极极化率	$\dot{z}$ 复量阻抗
P_{H_2} 氢气分压	z_0 基础位移
P_0 阴极极化率	$\dot{z}_s$ 阶跃速度
PO_2 氧气分压	$\ddot{z}_F$ 加速度最大初始响应
Pr 柏朗特数	$\ddot{z}_m$ 设备最大加速度
p 激振频率,箱壳壁承受的压力	$\ddot{z}_p$ 冲击脉冲加速度峰值
Q 热量、电量、动力放大因子	$\ddot{z}_R$ 加速度最大剩余响应
Q_f 通风量	α 换热系数,相角,螺旋角,金属板料的弯曲角度,接触摩擦系数,视角
Qd_{1max}, Qd_{2max} 圆轴销上所承受的最大剪力	$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$ 相角
q 热流密度	β 热膨胀系数,相角,损耗因子
R 水力半径,反射率,热阻,合力,电阻,反射损耗,气体常数,金属板料的弯曲半径	β_x, β_y 相角
Re 雷诺数	γ 频率比
R_m 磁阻	$\gamma_0, \gamma_c, \gamma_b$ 频率比
R_{min} 金属板料的最小弯曲半径	δ 厚度,减幅系数,弹簧间距,透入深度
R_t 热阻	ε 黑度,刚度比,相对变形,金属延伸率,介电常数
r 半径	ε_l 长度修正系数
S 面积,屏蔽体	ε_{st} 系统黑度
T 绝对温度,固有周期	ε_t 温度修正系数
t 温度,时间,弹簧节距,厚度	$\varepsilon_{\Delta t}$ 换热器温度修正系数
t_r 脉冲前沿上升时间	ζ 局部阻力系数,相角
U 流体湿润周长,激振力幅	η 效率,工作液评价标准,隔振系数,结构损耗因子
u 单位质量	η_0 隔冲系数
V 电压,复量电压模,磁位,决定腐蚀电流	η_{H_2} 氢超电压
	η_{O_2} 氧超电压

θ	过剩温度, 湿润角	φ	形状系数, 修正系数, 转角, 电极电位, 磁通量
θ_x, θ_y	相角	φ_0	标准电极电压
λ	导热系数、波长, 沿程阻力系数, 振幅比	φ_A	阳极平衡电位
λ_m	弹簧最大变形量	φ_c	阴极平衡电位
λ_s	静变形	φ'_A	通电后阳极电位
μ	动力粘性系数, 质量比、泊桑比, 磁导率	φ'_c	通电后阴极电位
ν	运动粘性系数, 运动响应(位移、速度、加速度的普遍符号)	φ_e	平衡电极电位
ζ	激振函数(位移、速度、加速度的普遍符号), 局部阻力系数	φ_{H_2}	氢电极平衡电位
ξ_p	冲击脉冲峰值(位移、速度、加速度的普遍符号)	$\varphi^{\circ} H_2$	标准氢电极电位
π	珀尔帖系数	φ_{O_2}	氧电极电位
ρ	密度, 对数减幅系数, 电阻率	$\varphi^{\circ} O_2$	氧的标准电极电位
σ	表面张力, 应力	φ_{O_x}	氧化还原电极电位
σ_b	黑体辐射常数, 抗拉强度极限	$\varphi^{\circ} O_x$	氧化还原反应的标准电极电位
σ_N	破坏应力	φ_+	正极电极电位
σ_s	螺钉的拉应力	φ_-	负极电极电位
$[\sigma_s]$	螺钉的许用拉应力	$\Delta\varphi_A$	阳极电位极化值
τ	时间	$\Delta\varphi_c$	阴极电位极化值
τ_0	弹簧材料脉动疲劳极限	φ_x	转角, 腐蚀电位
τ_{max}	最大剪应力	φ_y, φ_z	转角
τ_r	有效冲击持续时间	ψ	相对位移
τ_s	剪应力屈伏极限	ψ_F	最大初始响应
$[\tau]$	许用剪应力	ψ_R	最大剩余响应
ϕ_0, ϕ_x, ϕ_y	振幅	ω	固有圆频率(无阻尼), 角频率
		ω_d	固有圆频率(有阻尼)

目 录

前言

主要符号表

绪论

- 第一节 电子设备结构设计的内容..... 1
- 第二节 电子设备的工作环境..... 2
- 第三节 提高电子设备工作可靠性的方法... 8

第一篇 电子设备热设计

第一章 电子设备热设计基础.....11

- 第一节 导热.....11
- 第二节 对流换热及因次分析法.....20
- 第三节 自然对流换热.....25
- 第四节 强迫对流换热.....28
- 第五节 辐射换热.....36
- 第六节 传热.....46

第二章 电子设备热设计基本原则.....54

- 第一节 电子设备的热环境.....54
- 第二节 电子设备热设计基本原则.....56
- 第三节 电子设备散热方法的选择.....59

第三章 电子设备的自然散热.....63

- 第一节 电子设备自然散热的结构因素.....63
- 第二节 印制电路板的自然散热设计.....67
- 第三节 晶体管散热器的设计计算.....72

第四章 强迫风冷和液体冷却.....77

- 第一节 强迫通风冷却系统的设计.....77
- 第二节 液体冷却.....94
- 第三节 泵、换热器及冷却液的选择.....96
- 第四节 液体冷却系统的设计..... 102

第五章 蒸发冷却..... 105

- 第一节 蒸发冷却的基本原理..... 105

- 第二节 蒸发冷却系统的组成..... 106

- 第三节 蒸发冷却系统的设计计算..... 108

- 第四节 蒸发冷却的应用..... 111

- 第五节 蒸发冷却系统的优缺点..... 113

第六章 电子设备的其他冷却方法..... 114

- 第一节 半导体致冷..... 114

- 第二节 热管..... 117

第七章 电子设备的热测量技术..... 129

- 第一节 温度的测量..... 129

- 第二节 强迫冷却时的压力测量..... 133

- 第三节 空气和液体流量的测量..... 135

第二篇 电磁兼容性结构设计

第八章 屏蔽原理..... 142

- 第一节 概述..... 142

- 第二节 电屏蔽..... 144

- 第三节 电屏蔽的效果..... 145

- 第四节 电屏蔽的结构..... 148

- 第五节 变量(压)器的电屏蔽..... 151

- 第六节 印制板的屏蔽线..... 152

- 第七节 扁平电缆的屏蔽..... 153

- 第八节 磁场的干扰..... 153

- 第九节 低频磁屏蔽..... 154

- 第十节 低频磁屏蔽的结构..... 159

- 第十一节 双层磁屏蔽..... 161

- 第十二节 减小磁场干扰的其他措施..... 162

- 第十三节 电磁屏蔽..... 165

- 第十四节 吸收损耗..... 166

- 第十五节 波阻抗..... 168

- 第十六节 反射损耗..... 169

- 第十七节 电磁屏蔽效果..... 171

- 第十八节 缝隙的泄漏..... 174

- 第十九节 孔洞的泄漏..... 175

- 第二十节 传动轴的泄漏..... 179

第九章 屏蔽效果的测量.....	182	第二节 安全地线.....	199
第一节 屏蔽效果的直接测量.....	182	第三节 地线中的干扰.....	200
第二节 模拟电磁场的生成.....	183	第四节 用低阻抗电源馈线减小干扰.....	203
第三节 屏蔽效果的间接测量.....	185	第五节 合理设计地线体系以减小干扰...	206
第四节 低频磁屏蔽的测试电路.....	186	第六节 用阻隔地环流的措施减小干扰...	209
第五节 电屏蔽的测试电路.....	188	第七节 有源四端网络的馈电与地线.....	214
第六节 磁屏蔽的测试电路.....	191	第八节 无源四端网络的地线.....	215
第七节 屏蔽效果.....	194	第九节 电路单元间的信号线与屏蔽地线	216
第八节 印制板插座片间串音与屏蔽.....	195	第十节 印制板电路信号线间的地线问题	218
第九节 串音干扰的叠加与剔除.....	197	第十一节 计算机印制电路板的地线.....	224
第十章 地线与电源馈线.....	199	第十二节 多线插座的接地.....	230
第一节 概述.....	199	第十三节 电源布线.....	232

绪 论

第一节 电子设备结构设计的内容

在电子设备的设计中,需要进行结构的设计,这还是第二次世界大战以后的事情。十九世纪二十年代初期,人们使用的电子设备比较简陋,结构也很简单,因此不需要对结构进行专门的设计。二十年代后期,由于大量采用了电子管,电子设备的增益、频率等电的性能参数有所提高,要求有屏蔽的措施,因此设备的型式也从木盒结构发展到金属机箱(柜)的结构。第二次世界大战以后,军用无线电电子技术迅速发展,世界各国相继进行了雷达技术的研究,结构的设计工作才提到日程上来。雷达的传动装置;各种讯号的传递、跟踪装置;天线、天线座的设计等等都列入了结构设计的内容。为了适应当时野战的需要,对热带、亚热带地区使用的电子设备,环境的防护(温度、湿度、低气压等)问题,也包括在结构设计之内。五十年代初期,半导体、印制线路相继制成并投入了使用,出现了体积小、重量轻、功能多的组件,给结构设计工作带来了新的变革。近十几年来,固体电路、集成电路、大规模集成电路的使用,使结构设计进一步向微型、超小型组装方向发展。

目前,电子设备的结构设计所包括的内容,大致有以下几个方面:

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有:

(1) 环境防护设计。包括元、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)、机架、机壳、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。根据讯号的传递或控制过程中,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

电子设备的热设计,是指对电子元、组件以及整机的温升控制。尤其是对于高密度组装的设备,更应注意其热耗的排除。温升控制的方法包括:自然冷却、强迫风冷、强迫液冷、蒸发冷却、温差电致冷、热管传热等各种形式。

3. 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设备,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、结构谐振而对电性能的影响。对于薄壁和型材的机柜结构,则还要考虑结构的强度、刚度和稳定性问题。

4. 电磁兼容性结构设计(电磁屏蔽与接地设计)

电子设备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,以提高设备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。

5. 机械传动装置设计

电子设备在完成讯号的产生、放大、变换、发送、接收、显示和控制的过程中,必需对各种参数(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. 防腐设计

严酷的气候条件会引起电子设备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,应根据设备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。

7. 连接设计

电子设备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,必需正确地设计、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、开关件等这些活动连接件的选用。

8. 人机工程学在结构设计中的应用

电子设备既要满足电性能指标的要求,又要使设备的操作者感到方便、灵活、安全,同时外形必须美观大方。这就要求用人机工程学的基本原理来考虑人与设备的相互关系,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。

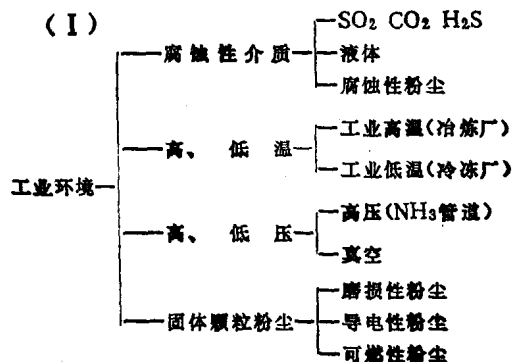
9. 可靠性试验

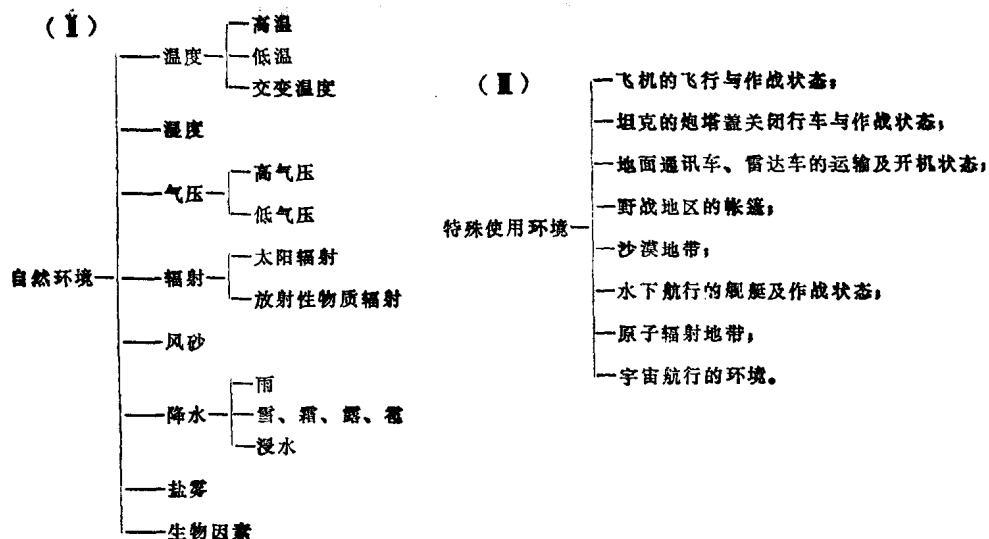
根据技术条件要求和设备的特殊用途,必需对模拟设备和试制产品进行可靠性试验或加速度试验,分析试验的结果,验证设计的正确性和可靠性指标。

由此可见,电子设备的结构设计包含着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,而只能重点地叙述环境防护设计这部分内容。至于可靠性,由于它关系到系统、元件、试验、数据处理等许多问题,可参阅专门的论述。

第二节 电子设备的工作环境

电子设备所处的环境,大体上可分为工业环境、自然环境和特殊使用环境三大类:





必需指出,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,有持续性的高、低温作用、有瞬态的作用(热冲击)及周期性作用等,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、重复的次数等等。所以,在选择设备的允许最高温度时,应取决于各个因素的最坏组合。这样,才能保证设备在受到多种环境因素的长期综合作用下,所采取的防护措施达到安全、可靠地工作。

一、一般的气候因素及其影响

根据我国地理位置分布,电子产品的气候条件分为:热带、亚热带、温带和寒带等四个气候带和湿热区、亚湿热区、亚干热区、高原区、温和区和干燥区等六个气候区(见表 0-1 所示)

具体情况说明如下:

1. 温度

我国最冷地区(黑龙江呼玛)一月份的最低气温为 -48°C ,地面达 -53°C 。电子设备元、器件的耐冷环境温度推荐值为 -45°C 。

最热地区(新疆吐鲁番)七月份的最高气温为 $+47.6^{\circ}\text{C}$,地面达 $+75^{\circ}\text{C}$,电子设备耐热环境温度推荐值为 $+45^{\circ}\text{C}$ 。

空气温度随海拔高度增加而下降,平均每上升100米高度,气温下降 0.56°C ;在15,000米的对流层,每上升1000米,温度下降 $4\sim 8^{\circ}\text{C}$;从10000米至20000米,温度恒定为 -56°C 。

对于某些温度交变剧烈地区,如沙漠地带昼夜温差可达 40°C ,这类地区的电子设备应进行温度交变试验。

2. 湿度

我国东南沿海,西南地区的相对湿度,年平均值达80%。

降雨量是影响湿度的主要因素。另外,空气湿度还与温度有关,相对湿度随温度的升高而降低。湿度增加,将加速金属材料的腐蚀速度,使绝缘材料的性能下降,从而引起元件参数变化,频率漂移,造成机器失灵。为此,电子设备的元器件及整机必须进行交变湿热试验。

表 0-1 中国无线电子产品气候分区综合表

气候带	气候区	地理分布	环境条件															极端情况举例	气候试验项目		
			气候要素																		
			极端最高气温	极端最低气温	最热月平均最高气温	最冷月平均最低气温	日温最大变化值	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	湿热月	干热月	强烈辐射卡/厘米 ² ·日	沙尘(大于60微米/天)	暴雨(大于100毫米/时)	强烈寒风	严重冰冻			腐蚀性因素	生物因素
昆虫	霉菌	含盐空气																			
热带	湿润区	雷州半岛、海南岛、台湾南部	41℃	0℃	36℃	8℃	10℃	95%同大	90%同大	50%同大	2~12个月	0	有至少连续一个月	有	有		沿海	有	有	E 级	极端情况举例
热带	亚湿润区	淮河流域、四川盆地、台湾北部	47℃	-15℃	36℃	-5℃	25℃	90%同大	86%同大	50%同大	1~3个月	0	有	有	有		沿海	有	有	F 级	1. 春夏季相对湿度常达100%，中兴曾出现过相对湿度100%，当时气温23~28℃，连续16h。 2. 北黎之太阳辐射全年达588kJ/cm ² ·a 3. 台湾阿里山一日暴雨量曾达1164mm
亚热带	亚干热区	新疆天山戈壁以南、戈壁沙漠	48℃	-30℃	41℃	-20℃	30℃	80%同大	20%同大	10%同大			有至少连续一个月	有	有	有		沿海	有	F 级	海上浓雾连续达十多天之久 1. 新疆吐鲁番盆地地最高气温曾达47.8℃ 2. 新疆且末风沙日数全年达51天，甘肃张掖达57天 3. 若羌一年雨量仅5mm
高原区		海拔高度在2000米以上													有						1. 黑河海拔高度为4000米，平均气压为500~590毫巴(仅为标准气压60%) 2. 拉萨地区全年太阳辐射在781kJ/cm ² ·a
温带	湿润区	淮河流域、南河套以东	46℃	大于-40℃	32℃	-26℃			30%同大	5%同大	不到一个月	0		有	有		沿海				
温带	干燥区	河西走廊、内蒙古自治区、甘肃、青海、新疆北部	48℃	大于-40℃	35℃	-26℃		80%同大	15%同大	5%同大	0	不到一个月	有至少连续一个月	有	有						
寒带		黑龙江省、内蒙古自治区北部	35℃	-50℃	25℃	-35℃			60%同大					有		有					黑龙江最低气温曾达-57℃

本表根据1975年6月四、六机部《电子设备金属腐蚀与防护设计参考资料》编写组提供的资料摘抄。亚热带区雾天大于一百天。

3. 低气压

大气压力随海拔高度增加而降低,见表 0-2 所示。

表 0-2

高 度(km)	0	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	10	20	30	45	100
气 温(℃)	15	12	8.5	2.0	-4.5	-11.0	-17.5	-50	-56	-56	+4.5	-76.3
气压(mmHg)	760	716	674	596	526	426	405	198	41	8.5	1.0	1.8×10^{-4}

随着海拔高度的增加,空气密度减小,气压下降,绝缘材料的抗电强度也下降。在5,000 m 以下,每升高 100 m ,抗电强度下降 1 %;在30,000 m 高空,抗电强度比地面下降达十一倍。

对于高空飞机、导弹、宇宙飞船、人造地球卫星等所用的电子设备应进行低气压试验。

4. 日光照射

太阳照射的强度与地理位置、大气条件(灰尘和其他污染物质)、季节、太阳射线进入地球表面的入射角等因素有关。从地球表面看,干热地区太阳光线几乎是垂直照射,其持续时间比温带地区长,平均强度高。根据现有的测量及统计资料,我国各地区的太阳辐射强度如表 0-3 所示。

表 0-3

项 目 \ 强 度 地 区	东 南	西 北	东 北	高 原
极大总辐射强度(J/cm ² ·s)	7.56	7.56	6.3	8.4
全年总辐射量(kJ/cm ² ·a)	646	630	646	714
七月份总辐射量(kJ/cm ² ·月)	63	71.4	63	75.6

我国西南的日喀则地区,年总辐射量可达(798kJ/cm²·a)。在强烈的日照下,一些有机材料的分子结构将发生化学变化,以致老化。

5. 灰砂

大气中存在着许多灰尘,这些灰尘由沙土、海盐燃料残渣、工业粉尘、废气、生物碎屑及霉菌孢子所组成。它随气流或旋风向四处传播。这些灰砂进入电子设备、将产生一定的破坏作用,应予以足够的重视。

6. 盐雾

盐雾是海风吹卷海水和海浪冲击海岸的喷溅,由气流卷入空中所形成。盐雾中含有大量的盐分,如我国东南沿海的盐雾月沉降量达 $3.4 \times 10^{-4} \sim 7.5 \times 10^{-3}$ mg/m²。盐雾将直接引起设备的金属材料腐蚀,并在绝缘体表面形成导电薄膜,产生泄漏电流。为此,海用的整机设备应进行盐雾防护试验。

7. 风暴

由于地面上空的气温、气压的急剧变化,经常会引起不同程度的风暴产生。我国沿海大部分地区,如山东半岛、辽东半岛等一带,受台风影响较大。

风暴主要是影响雷达天线正常工作。

8. 霉菌

在空气温度为25~35℃,相对湿度高于70%,无阳光照射的环境下,适合于霉菌生长。霉

表 0-4

气候条件对无线电元器件、材料的主要影响

气候条件		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	水蒸汽沉积， 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， 某些塑料零件膨胀和变形，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		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	结构损坏、漏泄
	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		金属腐蚀， 绝缘材料电阻下降	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，抗张强度降低
大 风		对天线、结构产生应力	结构损坏

菌以某些有机物为养料,并分泌出有机酸,破坏绝缘材料结构,加速金属材料腐蚀。霉菌的本身还能引起电气短路。

上述各气候因素对电子设备的影响,见表 0-4 所示。

二、特殊使用环境

在确定产品的技术条件时,不仅要考虑设备在工作过程中一般大气因素的作用,而且还要注意各种特殊的使用环境。

1. 飞机

飞机在飞行状态时,不同的机种、航速、空间位置,其设备舱的温度均不一样。例如,当飞机以最大速度飞行时,设备舱的温度可达 160°C ;马赫数大的起落飞行,飞机的蒙皮温度为 $78\sim 105^{\circ}\text{C}$ 。

另外,还要考虑飞行时空气的动力增温作用。其温升 Δt 可按下式计算:

$$\Delta t = \eta \frac{w^2}{2AgC_p} \quad (^{\circ}\text{C})$$

式中 A ——热功当量; w ——平均航速;
 g ——重力加速度; C_p ——定压比热;
 η ——附面层温度恢复系数。

机载电子设备,从严寒区进入温暖的地带,或在严寒环境下间断的工作时,如果没有严格的空调,则会遇到大幅度的温度交替变化,这种温度冲击的问题在设计时应予以认真考虑。

2. 舰艇

海上的大气温度一般不超过 40°C ,舱内与外界的温差为 $5\sim 8^{\circ}\text{C}$ 。安放雷达、通讯设备、声纳、罗经等舱室内,一般不大于 50°C ;机舱可达 60°C ;炉舱达 70°C 。相对湿度为 $70\sim 90\%$,甚至更高。所以,防腐蚀、防潮、防霉是舰用电子设备考虑的主要问题。

3. 坦克

白天驻守于野外的坦克,因受太阳辐射的影响,车内最高气温为 45°C ;行车时坦克车内气温达 57°C 。当坦克行进期间,炮塔盖关闭时,车内电台周围的气温可高达 76°C 。

4. 地面用通讯车、雷达车

这些设备在野外停车的情况下,车内与外界的温差可达 $5\sim 14^{\circ}\text{C}$ 。实测结果表明,通讯车在东南地区的野外工作时,若门窗关闭,车内与外界温差最高可达 30°C 。

5. 地面作战环境

战地短期贮存场所(如帆布篷帐,包装状态、露天搁置),设备的里外温湿度相差不多。

设备贮存于木箱或金属箱内部,其箱内外温差可达 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。对于涂漆、通风不良的金属箱内的里外温差可达 25°C 。

携带式电台、电话单机、步话机等设备,当曝晒于野外的砂地上时,机内与外界的温差可高达 20°C 。

三、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、离心力等各种机械力的作用,有可能造成设备的故障。