

高等学校试用教材

电子设备结构设计原理

南京工学院
西北电讯工程学院 合编
北京邮电学院
南京工学院 主编

江苏科学技术出版社

内 容 简 介

本书为高等院校“无线电设备结构设计”专业的统编教材。内容包括热设计,振动与冲击隔离,电磁兼容性,腐蚀与防护设计和机柜机箱设计等方面。书中叙述了与电子设备结构设计有关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。

本书除作为高等院校“无线电设备结构设计”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。

电子设备结构设计原理

南京工学院 主编

出版:江苏科学技术出版社

发行:江苏省新华书店

印刷:徐州印刷厂

开本787×1092毫米 1/16 印张31.5 字数767,000

1981年2月第1版 1982年3月第2次印刷

印数9,201—16,200册

书号:15196·049 定价:3.03元

责任编辑 许顺生

前 言

一九七八年三月，第四机械工业部在南京召开了“高等院校工科电子类专业统编科材”会议，会上由南京工学院、西北电讯工程学院、成都电讯工程学院、北京邮电学院和上海科技大学等五所院校有关专业的教师，根据几年来的教学经验和科研实践，共同拟定了“电子设备结构设计原理”统编教材的编写大纲。本书系根据此大纲编写而成的专业教材，全文内容共分五个部分：

热设计——介绍温度对电子设备性能的影响及其控制的措施；

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；

电磁兼容性——介绍电磁干扰对电子设备性能的影响及其抑制的措施；

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；

机柜机箱设计——介绍电子设备机柜机箱的设计原则、方法、步骤，以及人机关系在结构设计中的应用。

在编写本书时，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国内外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。

本书按课内 115 教学时数编写，各校在使用时可根据具体的要求适当取舍。

本书由南京工学院主编，北京邮电学院主审。参加编审工作的还有：西北电讯工程学院、上海科技大学和南京邮电学院等院校。具体分工如下：

热设计由赵惇爰编写，章继高、谢德仁、祝明德审阅；

振动与冲击隔离由鲁守来编写，王静宇、赵惇爰审阅；

电磁兼容性由李家樾、肖伟编写，吕仁清、蒋全兴审阅；

腐蚀与防护设计由卢世济编写，彭道儒、归水民审阅；

机柜机箱设计由邹鸿德编写，沈惠源、归水民审阅。

全书最后由南京工学院邱成悌等整理。

在本书的编写过程中，各有关工厂、院校、科研单位提供了许多宝贵的资料并提出了建设性意见，在此一并表示衷心的感谢。

限于我们的思想水平和业务能力，本书一定有很多不足之处，希望广大读者提出批评指正。

编 者 1979年10月

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	G_r 格拉晓夫数
A_0 基础振幅	g 重力加速度, 屏蔽板缝隙宽度
A_{dB} 屏蔽效果(dB 计量)	H 高度, 通风机全压, 磁场强度
A_N 屏蔽效果(N_{ep} 计量)	H_i 放大因子
A_t 波导管的衰减量	Hz 赫芝
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	ΔH_2 局部阻力损失
B 振幅, 设备的宽度, 磁感强度, 导轨宽度	ΔH_1 沿程阻力损失
B_1 明亮部分的亮度	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_2 黑暗部分的亮度	h_0 非标准大气压(毫米汞柱)
b 宽度, 减振器安装位置离重心的水平距离(y 方向)	h_1 橡皮密封垫圈压缩前的高度
C 比热, 电容, 亮度的对比度, 离子浓度	h_2 橡皮密封垫圈压缩后的高度
C_0 黑体辐射系数	I 电流, 复量电流的模量
C_H 氢离子浓度	$\dot{I}$ 复量电流
C_{OH} 氢氧离子浓度	I_{max} 最大腐蚀电流
C_{ox} 氧化态物质浓度	I_0, I', I_x, I_y, I_z 转动惯量
C_{re} 还原态物质浓度	I_y, I_z 惯性矩
c 阻力系数, 弹簧指数	I_K 截面自由扭转时的惯性矩
c_1, c_2, c_3, c_4 积分常数	I_w 截面对扭转中心的主扇性惯性矩
c_0 临界阻力系数	i 瞬态电流, 电流密度
D 直径, 穿透率, 阻尼比, 眼睛到物体的距离	i_x, i_y 惯性半径
d 直径, 金属密度	j 虚轴单位矢量
dB 分贝值	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
E 辐射力, 弹性模量, 隔振效率, 能, 电动势	K' 金属腐蚀速度
e 偏心距, 电子电量, 电势, 电压的瞬时值	K'' 金属腐蚀前后延伸率的改变
F 力, 法拉第、常数	K_c 接触传热系数
F_d 阻尼力	k 弹簧刚度
f 固有频率, 摩擦系数, 变形量	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_c 截止频率	k_2 与弯曲角度有关的折弯系数
G 流量, 剪切弹性模量	k_d 动刚度
	k_{sh} 冲击刚度
	k_s, k_y, k_z 弹簧刚度

L	长度,蒸发潜热,电感	t_r	脉冲前沿上升时间
l	长度	U	流体湿润周长,激振力幅
M	互感	u	单位质量
m	质量,系数	V	电压,复量电压模,磁位,决定腐蚀电流的阴极和阳极电位差。
$\dot{m}$	质量流量	V_0	阴极和阳极起始电位差
N	应力循环次数,信噪比,串音衰耗,防卫度当量浓度	V_i	蒸发水量
N_{dB}	声强级	$\dot{V}$	复量电压
N_{ep}	奈比值	v	速度
N_l	液体传输系数	W	宽度
N_u	努谢尔特数	w	速度
N_{max}, N'_{max}	传递力幅	X	振幅
n	转速,倍数,安全系数,螺钉数目,离子价数,线圈匝数	Y	振幅
n_0, n_1, n_2	弹簧圈数	y	导轨的最大动力挠度
n_k	动刚度系数	z	振幅,阻抗,波阻抗,复量阻抗的模
$[n]$	许容安全系数		设备位移
P	压力,重力,计算换热器辅助量,功率	$\bar{z}$	复量阻抗
P_A	阳极极化率	z_0	基础位移
P_{H_2}	氢气分压	$\dot{z}_i$	阶跃速度
P_c	阴极极化率	$\ddot{z}_F$	加速度最大初始响应
P_{O_2}	氧气分压	$\ddot{z}_m$	设备最大加速度
Pr	柏朗特数	$\ddot{z}_p$	冲击脉冲加速度峰值
p	激振频率,箱壳壁承受的压力	$\ddot{z}_R$	加速度最大剩余响应
Q	热量、电量	α	放热系数,相角,螺旋角,金属板料的弯曲角度,接触摩擦系数,视角
Q_l	通风量	$\alpha_x, \alpha_y, \alpha_z$	相角
Qd_{1max}, Qd_{2max}	圆轴销上所承受的最大剪力	β	热膨胀系数,相角
q	热流密度	β_x, β_y	相角
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	γ	重度,频率比
Re	雷诺数	$\gamma_0, \gamma_a, \gamma_b$	频率比
R_m	磁阻	δ	厚度,减幅系数,弹簧间距,透入深度
R_{min}	金属板料的最小弯曲半径	ε	黑度,刚度比,相对变形,金属延伸率,介电常数
R_t	热阻	ε_l	长度修正系数
r	半径	ε_{s1}	系统黑度
S	面积,屏蔽体	ε_t	温度修正系数
T	绝对温度,固有周期	ε_{At}	换热器温度修正系数
t	温度,时间,弹簧节距,厚度	ζ	局部阻力系数,相角
		η	效率,工作液评价标准,隔振系数

η_a 隔冲系数
 η_{H_2} 氢超电压
 η_{O_2} 氧超电压
 θ 过剩温度,湿润角
 θ_a, θ_v 相角
 λ 导热系数、波长,沿程阻力系数,振幅比
 λ_m 弹簧最大变形量
 λ_s 静变形
 μ 动力粘性系数,质量比、泊桑比,磁导率
 ν 运动粘性系数,运动响应(位移、速度、加速度的普遍符号)
 ζ 激振函数(位移、速度、加速度的普遍符号),局部阻力系数
 ξ_p 冲击脉冲峰值(位移、速度、加速度的普遍符号)
 π 珀尔帖系数
 ρ 密度,对数减幅系数,电阻率
 σ 表面张力,应力
 σ_b 黑体辐射常数,抗拉强度极限
 σ_N 破坏应力
 σ_s 螺钉的拉应力
 $[\sigma_s]$ 螺钉的许用拉应力
 τ 时间
 τ_0 弹簧材料脉动疲劳极限
 τ_{max} 最大剪应力
 τ_r 有效冲击持续时间
 τ_s 剪应力屈服极限
 $[\tau]$ 许用剪应力

ϕ_0, ϕ_x, ϕ_v 振幅
 φ 形状系数,修正系数,转角,电极电位,磁通量
 φ_0 标准电极电压
 φ_A 阳极平衡电位
 φ_c 阴极平衡电位
 φ'_A 通电后阳极电位
 φ'_c 通电后阴极电位
 φ_e 平衡电极电位
 φ_{H_2} 氢电极平衡电位
 $\varphi^\circ_{H_2}$ 标准氢电极电位
 φ_{O_2} 氧电极电位
 $\varphi^\circ_{O_2}$ 氧的标准电极电位
 φ_{O_x} 氧化还原电极电位
 $\varphi^\circ_{O_x}$ 氧化还原反应的标准电极电位
 φ_+ 正极电极电位
 φ_- 负极电极电位
 $\Delta\varphi_A$ 阴极电位极化值
 $\Delta\varphi_c$ 阳极电位极化值
 φ_s 转角,腐蚀电位
 φ_v, φ_x 转角
 ψ 相对位移
 ψ_F 最大初始响应
 ψ_R 最大剩余响应
 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	1
-----------	---

主要符号表	1
-------------	---

绪 论	1
-----------	---

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	3
---------------------	---

第三节 提高电子设备工作可靠性的方法	8
--------------------------	---

第一篇 热 设 计

第一章 热设计基本原则	10
-------------------	----

第一节 温度对电子设备的影响	10
----------------------	----

第二节 电子设备热设计的基本原则	12
------------------------	----

第三节 电子设备冷却方法的选择	17
-----------------------	----

第二章 导 热	19
---------------	----

第一节 导热基本定律	19
------------------	----

第二节 平壁导热	21
----------------	----

第三节 圆筒壁导热	23
-----------------	----

第四节 各种形状的热阻计算	25
---------------------	----

第五节 导热微分方程	26
------------------	----

第三章 因次分析法在对流换热中的应用	28
--------------------------	----

第一节 对流换热概述	28
------------------	----

第二节 因次分析法	29
-----------------	----

第四章 对流换热	34
----------------	----

第一节 流体自然对流的特征	34
---------------------	----

第二节 自然对流时的换热计算	34
----------------------	----

第三节 流体受迫流动时的换热	36
----------------------	----

第四节 流体横向流过圆管时的换热	39
------------------------	----

第五节 流体沿平板流动时的换热	41
-----------------------	----

第五章 辐射换热	44
----------------	----

第一节 热辐射的概念	44
------------------	----

第二节 热辐射的基本定律	45
--------------------	----

第三节 两物体之间的辐射换热计算	47
------------------------	----

第四节 太阳辐射热的计算	50
--------------------	----

第六章 复合换热	52
----------------	----

第七章 电子设备的自然换热	58
---------------------	----

第一节 电子设备机壳的热设计	58
----------------------	----

第二节 设备内部电子元件的散热	61
-----------------------	----

第三节 晶体管散热器的设计计算	65
-----------------------	----

第八章 电子设备的强迫通风和液体冷却	71
--------------------------	----

第一节 强迫通风冷却系统的设计	71
-----------------------	----

第二节 液体冷却	83
----------------	----

第三节 泵、换热器及冷却液的选择	85
------------------------	----

第四节 液体冷却系统的设计	91
---------------------	----

第九章 蒸发冷却	94
----------------	----

第一节 蒸发冷却的基本原理	94
---------------------	----

第二节 蒸发冷却系统的组成	95
---------------------	----

第三节 蒸发冷却系统的设计计算	97
-----------------------	----

第四节 蒸发冷却的应用	101
-------------------	-----

第五节 蒸发冷却系统的优缺点	102
----------------------	-----

第十章 电子设备的其他冷却方法	104
-----------------------	-----

第一节 半导体致冷	104
-----------------	-----

第二节 热管	107
--------------	-----

第十一章 电子设备的热测量技术	118
-----------------------	-----

第一节 温度的测量	118
-----------------	-----

第二节 强迫冷却时的压力测量	122
----------------------	-----

第三节 空气和液体流量的测量	124
----------------------	-----

第二篇 振动与冲击隔离

第十二章 设备周围的机械环境	129
----------------------	-----

第一节 概述	129
--------------	-----

第二节 设备周围的机械环境	129
---------------------	-----

第三节 振动和冲击对电子设备产生的危害	132
---------------------------	-----

第十三章 单自由度系统的振动134

- 第一节 单自由度系统的自由振动134
- 第二节 单自由度系统的阻尼自由振动138
- 第三节 单自由度系统的强迫振动142
- 第四节 隔振基本原理149

第十四章 多自由度系统的振动159

- 第一节 概述159
- 第二节 两个自由度系统的自由振动159
- 第三节 两个自由度系统的强迫振动162
- 第四节 单质体多自由度系统的振动169

第十五章 冲击的隔离186

- 第一节 概述186
- 第二节 单自由度线性系统187
- 第三节 单自由度非线性系统203
- 第四节 非耦合两个自由度系统210

第十六章 减振器215

- 第一节 概述215
- 第二节 减振器的弹簧特性216
- 第三节 减振器的设计219
- 第四节 常用减振器的结构及其性能223
- 第五节 设备的重心和转动惯量230
- 第六节 隔振系统的设计计算233
- 第七节 防止振动和冲击对设备影响的措施236

第三篇 电磁兼容性

第十七章 屏蔽原理240

- 第一节 概述240
- 第二节 电屏蔽242
- 第三节 电屏蔽的效果243
- 第四节 电屏蔽的结构245
- 第五节 变量(压)器的电屏蔽247
- 第六节 印制板的屏蔽线248
- 第七节 扁平电缆的屏蔽249
- 第八节 磁场的干扰249
- 第九节 低频磁屏蔽250
- 第十节 低频磁屏蔽的结构253

- 第十一节 双层磁屏蔽254
- 第十二节 减小磁场干扰的其他措施256
- 第十三节 电磁屏蔽258
- 第十四节 吸收损耗258
- 第十五节 波阻抗260
- 第十六节 反射损耗261
- 第十七节 电磁屏蔽效果263
- 第十八节 缝隙的泄漏266
- 第十九节 孔洞的泄漏267
- 第二十节 传动轴的泄漏271

第十八章 屏蔽效果的测量273

- 第一节 屏蔽效果的直接的测量273
- 第二节 屏蔽效果的间接测量274
- 第三节 低频磁屏蔽的测试电路275
- 第四节 电屏蔽的测试电路277
- 第五节 磁屏蔽的测试电路281
- 第六节 屏蔽效果283
- 第七节 印制板插座片间串音与屏蔽285
- 第八节 串音干扰的叠加与剔除287

第十九章 地线与电源馈线290

- 第一节 概述290
- 第二节 安全地线290
- 第三节 地线中的干扰292
- 第四节 用低阻抗电源馈线减小干扰294
- 第五节 合理设计地线体系以减小干扰297
- 第六节 用阻隔地环流的措施减小干扰300
- 第七节 有源四端网络的馈电与地线306
- 第八节 无源四端网络的地线306
- 第九节 电路单元间的信号线与屏蔽接地308
- 第十节 印制板电路信号线间的地线问题309
- 第十一节 计算机印制电路板的地线316
- 第十二节 多线插座的接地322
- 第十三节 电源布线323

第四篇 腐蚀与防护设计

第二十章 金属腐蚀基本理论327

- 第一节 金属腐蚀及其对电子设备的危害327

第二节	电极电位	330
第三节	腐蚀电池	336
第四节	极化与去极化作用	339
第五节	氢去极化腐蚀与氧去极化腐蚀	342
第六节	金属腐蚀程度的表示法	345
第七节	影响金属腐蚀的因素	346
第八节	金属的氧化	348

第二十一章 电子设备工作环境中的金属腐蚀

第一节	大气腐蚀	350
第二节	海水腐蚀	354
第三节	土壤腐蚀	356
第四节	应力腐蚀开裂	358
第五节	腐蚀疲劳	359
第六节	电解腐蚀	360

第二十二章 常用金属材料的耐腐蚀性能

第一节	碳钢和普通铸铁	362
第二节	普通低合金钢	363
第三节	不锈钢	364
第四节	铝及铝合金	366
第五节	铜及铜合金	368
第六节	钛及其合金	369

第二十三章 防蚀设计

第一节	选择耐蚀材料	371
第二节	合理设计金属结构	373
第三节	控制腐蚀环境	377
第四节	采用耐蚀覆盖层	378
第五节	电化学保护	379
第六节	防蚀设计的方法和步骤	380

第二十四章 防蚀覆盖层

第一节	金属覆盖层的分类与获得方法	381
第二节	常用金属镀层的耐蚀性	382
第三节	金属表面化学处理	387
第四节	影响金属镀层防护性能的因素	388
第五节	油漆覆盖层概述	390
第六节	油漆的基本性能及选择配套	393
第七节	其他覆盖层	395

第二十五章 防潮湿与防霉菌

第一节	潮湿对电子设备的危害	397
第二节	防潮处理的一般措施	399
第三节	霉菌的滋生及其危害	400
第四节	防止霉菌的一般方法	401

第五篇 机柜机箱结构设计

第二十六章 设计基本内容

第一节	机柜机箱结构设计的重要性 和基本要求	404
第二节	机柜机箱的基本类型及其组成	405
第三节	机柜机箱设计的基本步骤	408

第二十七章 机柜机箱结构设计

第一节	机架机柜结构设计	411
第二节	底座设计	424
第三节	箱壳、插箱设计	432
第四节	面板设计	437
第五节	导轨设计	439
第六节	机柜机箱附件设计	444

第二十八章 人机关系

第一节	人体特性	451
第二节	人机关系	459

第二十九章 机柜机箱的标准化

第一节	标准化的意义	478
第二节	机柜机箱的积木化结构	479

附 录

I.	在大气压力 $p = 760$ 毫米汞柱时的 干燥空气的物理参数	482
II.	在一个大气压或饱和线上水的物理 参数	483
III.	各种材料表面的黑度(法线方向 辐射)	484
IV.	双曲线函数	485
V.	减振器(SJ93—78)主要性能参数	486
VI.	电子设备主要结构尺寸系列 (SJ140—77)	489

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:自然空冷、强迫空冷、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。这样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。

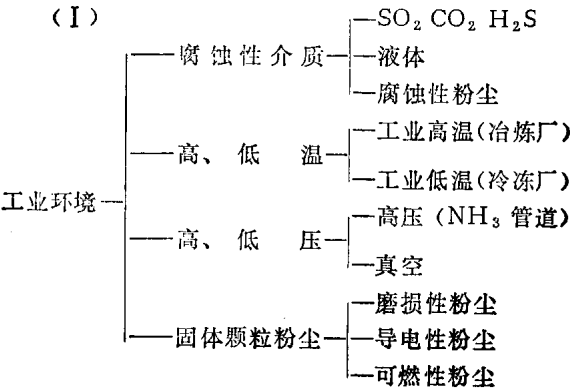
9. 可靠性试验

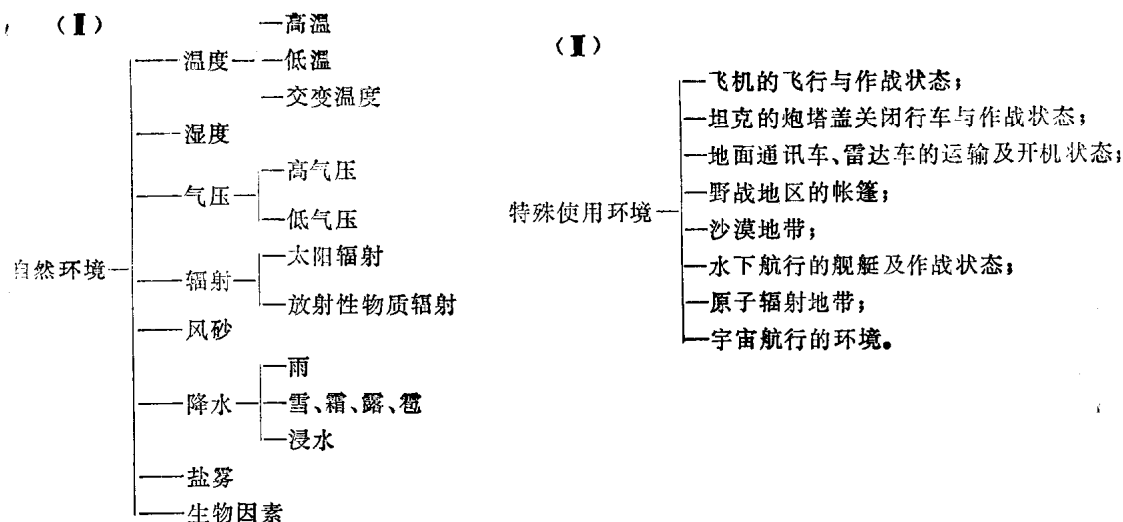
根据技术条件要求和设备的特殊用途,必需对模拟设备和试制产品进行可靠性试验或加速试验,分析试验的结果,验证设计的正确性和可靠性指标。

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 $+75^{\circ}\text{C}$,电子设备耐热环境推荐值为 $+45^{\circ}\text{C}$ 。

空气湿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				
			要素																	
			气候						因素											
			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	湿月数	干月数	强辐射卡/厘米 ² /日	霜冻(大于60天)			暴雨(毫米/时)	强烈寒风	严重冰冻	腐蚀因素
热	带	雷州半岛、海南岛、台湾南部	41℃	0℃	36℃	8℃	10℃	95%同时大于30℃	90%同时大于25℃	50%同时大于35℃	2~12个月	0	有	有		沿海	有	有	1. 春夏季相对湿度常达100%，中興曾出现过相对湿度100%，当时气温23~28℃，连续16小时达140千卡/厘米 ² 2. 北婆之太阳辐射全年达140千卡/厘米 ² 3. 台湾阿里山一日暴雨量曾达116.4毫米	设
亚	带	淮河流域以南、四川盆地、台湾北部	47℃	-15℃	36℃	-5℃	25℃	90%同时大于30℃	86%同时大于25℃	50%同时大于35℃	1~3个月	0	有	有		沿海	有	有	海上浓雾连续达十多天之久	级
热	带	新疆天山以南、戈壁沙漠	48℃	-30℃	41℃	-20℃	30℃	80%同时大于20℃	20%同时大于35%	10%同时大于25℃			有	有	有				1. 新疆吐鲁番盆地最高气温曾达47.8℃ 2. 新疆且末风砂日数全年达51天，甘肃张掖达57天 3. 若羌一年雨量仅5毫米	级
高	原	海拔高度在2000米以上																	1. 黑河海拔高度为4000米，平均气压为500~590毫米(仅为标准气压60%) 2. 拉萨地区全年太阳辐射在186大卡/厘米 ² ·年	
温	和	淮河流域、中南部、黄河以东、河套以西、内蒙古自治	46℃	大于-40℃	32℃	-26℃			30%同时大于20℃	5%同时大于25℃	不到一个月	0		有		沿海				
干	燥	河套以西、内蒙古自治、甘肃、青海、新疆北部	48℃	大于-40℃	35℃	-26℃		80%同时大于20℃	15%同时大于25℃	5%同时大于25℃	0	不到一个月	有	有						
寒	带	黑龙江、内蒙古自治区北部	35℃	-50℃	25℃	-35℃			60%同时大于25℃				有		有				黑龙江免渡河最低气温曾达-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要。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(公里)	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(毫米汞柱)	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 米以下,每升高 100 米,抗电强度下降 1%;在 30,000 米高空,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	地 区			
	东 南	西 北	东 北	高 原
极大总辐射强度(卡/厘米 ² 秒)	1.8	1.8	1.5	2.0
全年总辐射量(千卡/厘米 ² 年)	130	150	130	170
七月份总辐射量(千卡/厘米 ² 月)	15	17	15	18

我国西南的日喀则地区,年总辐射量可达(190 千卡/厘米²年)。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 $3.4 \times 10^{-4} \sim 7.5 \times 10^{-3}$ 毫克/米²。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

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

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℃; 马赫数大的起落飞行, 飞机的蒙皮温度为 78~105℃。

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:

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

式中 A —热功当量; v —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℃, 舱内与外界的温差为 5~8℃。安放雷达、通讯设备、声纳、罗经等舱室内, 一般不大于 50℃; 机舱可达 60℃; 炉舱达 70℃。相对湿度为 70~90%, 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℃; 行车时坦克车内气温达 57℃。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℃。

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 5~14℃。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℃。

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 15~20℃。对于涂漆、通风不良的金属箱内的里外温差可达 25℃。

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℃。

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。

这种故障表现为如下几方面:

- 1) 设备在某一激振频率作用下产生谐振。如可变电容器因谐振使容量发生周期性变化;电感回路因铁粉芯移动造成的回路失谐等。
- 2) 振动引起各种紧固件松脱、断裂。如电真空器件、阻容元件、螺钉、螺母等因振动造成的短路、断裂、松落,使设备的电性能变化,工作失效。
- 3) 长期振动或频繁冲击引起材料疲劳极限降低,构件破裂。
- 4) 由于机械振动或谐振而产生机械的噪声,干扰设备的正常工作。
- 5) 振动冲击使晶间腐蚀和应力腐蚀加重。另外,金属的氢脆和内应力变化,或涂复层剥落,使腐蚀物落入其他零部件而引起电性能变化。

统计资料说明,各种机械力作用所造成的损坏中,阻容元件占 50% 以上;电真空器件占 20%;紧固件松脱约占 11%。因此,在整机结构以及元器件的安装上必须采取有效的减振、缓冲措施,以提高设备工作的可靠性。

四、噪声对设备的干扰

所谓噪声是指电路中出现不应有的电信号而干扰着设备的正常工作,对此必须予以消除或抑制。

噪声的来源可分为三类:

固有噪声源——即物理性的无规则波动所造成的噪声。如电阻中电子的热骚动;电子管与半导体器件上,电子(或空穴)随机发射时产生的散粒噪声以及接触噪声等。

人为噪声源——如电晕、电火花、放电管所引起的放电噪声;电动机、发射机、开关等所引起的电气干扰源。

自然界干扰源——如宇宙和天电的干扰、太阳黑子的干扰等。

上述种种噪声,通过辐射和传导的形式进入电子设备,引起互相干扰。除了外界的噪声干扰外,设备的元器件在工作过程中也会相互干扰,这些都应予减弱和消除。

降低噪声强度的措施有:噪声源的抑制;消除噪声的耦合通道;抑制接收系统的噪声。其方法包括:屏蔽、接地、平衡、滤波、隔离、分离与定向、控制电路阻抗、改进电缆设计以及消除法等等。而与结构设计相关的主要是屏蔽与接地。

总之,在电路设计与结构设计上不应使设备的本身成为一个噪声源,同时还必需使设备能够有抵抗外来干扰的能力。

第三节 提高电子设备工作可靠性的方法

评定一部电子产品质量的好坏、通常包括几个内容:

- (1) 设备所能达到的技术指标。
- (2) 对于可维修的产品,在规定的时间内,要求无故障工作时间长;而当出现故障时,要能迅速排除,恢复正常。即设备工作的有效性高。
- (3) 设备工作的可靠性高。这里包括:
 - ① 设计和制造过程中,对可靠性影响因素的控制。如元器件的正确选用;电路的形式;机