

· 923023

高等学校教材

电子设备结构与造型设计

沈惠源

东南大学出版社

3

高等学校教材

电子设备结构与造型设计

沈惠源

东南大学出版社

内 容 简 介

本书为高等学校工科电子类非结构设计各专业开设“电子设备结构”课程全国规划教材。内容包括电子设备环境因素及其防护(电磁兼容性, 隔振与隔冲, 散热等), 电子设备的箱柜结构设计, 电子产品造型、色彩与人机工程学及印制线路板设计等。

本书还可供从事电子设备结构设计的工程技术人员、科研工作者参考。

责任编辑 施 恩

责任校对 化 雨

电子设备结构与造型设计

沈惠源

东南大学出版社出版

南京四牌楼2号

江苏省新华书店发行 高淳印刷厂印刷

开本787×1092毫米 1/16 印张 11.5 字数 266千

1990年3月第1版 1990年3月第1次印刷

印数 1—2000册

ISBN7-81023-290-8

TN·29 定价:2.35元

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1988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，逐步实现多样化，增之不同品种、不同层次、不同学术观点、不同风格、不同革命试验的教材”的精神，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。这批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

本书系按电子工业部工科电子类专业教材1986—1990年编审出版规划要求编写的大学本科电子类非结构设计各专业“电子设备结构”课程的统编教材，由电子机械教材编审委员会无线电设备结构设计教材编审小组征稿并推荐出版，责任编辑张兴准。

本教材是在原自编“构形设计”讲义的基础上编写而成，可供40~50学时教学使用。全书共分五章。主要介绍：电子设备环境因素及其防护(电磁兼容性、隔振与隔冲、散热等)、电子设备的箱柜结构设计、电子产品造型与人机工程学及印刷线路板设计等内容。

在编写中，力求做到根据电子类非结构设计各专业的需要，精选教学内容，注意对基本理论、基本原理的分析阐述及其在实际中的应用。书中各章、节的内容具有相对的独立性，可供有关教师根据不同学时要求选用。

本书主审人为东南大学邱成悌副教授。鲁守来、谢德仁、吕仁清同志分别审阅了部分章节。在编写过程中还得到有关单位提供的宝贵资料及意见，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，编写时间仓促，书中一定存在缺点及错误，恳请使用本书的师生及广大读者给予批评指正。

作 者

一九八八年八月

绪 言

电子学是以电子运动和电磁波及其相互作用的研究和利用为核心而发展起来的一门科学技术，为了某种应用目的，利用电子学原理制成的设备、装置、仪器、仪表等统称为电子设备。如通信设备、电视机、电子计算机等。随着电子技术的发展，现代的电子设备已应用于人类生活的各个领域。

一、电子设备的分类

根据电子设备的用途，可粗略分为三大系统：

1. 有线、无线及广播通信系统：如载波多路通信设备、卫星通信设备、电视设备、广播设备、移动通信设备等。
2. 信息处理系统：如各种大、中、小及微型电子计算机及其外围设备、数据处理及计算机控制设备等。
3. 电波及电子应用系统：如雷达设备、各种激光应用设备、医用电子设备、各种电子测量及检验设备、电子显微镜、射电天文望远镜等。

二、电子设备组装与结构设计

根据电原理图或逻辑图，把各种电子元器件、机电零部件可靠地互相连接安装起来，使其成为能应用的电子设备，这一过程称为电子设备组装。为实现组装，电子设备必须有相应的结构，因此电子设备结构是电子设备的主要组成部分。电子设备结构一般分两类，一类是供电子组装用的机械结构，如机箱、机柜、插箱、支架、导轨等，其基本功能是提供各种元器件、连接电缆等的组装场所及依托，以便于生产、使用和维修，并对它们起到防护作用。另一类为电子机械结构，这些结构有传递和变换能量作用，如录音机的机械传动部分，它是本设备工作的一个部分，它的转动使录音带上的信号通过磁头变成电信号。要实现电子设备的组装，首先要进行电子设备的结构设计，根据设计才能制造电子设备。

三、对电子设备结构物的基本要求

1. 使用方面的要求

(1) 尺寸和重量的限制

如对船舶、车辆和飞机等的运载工具设备，要特别注意其体积的大小、重量等要求。装在室内的设备还要受到门、电梯等尺寸的限制及地板允许载荷的限制。

(2) 使用中的要求

电子设备在使用时，对于各种控制器和显示器的位置，操作性能，显示方法，显示记号和色彩都应符合人体特性，当多个设备并列一起使用时，作为一个整体应有统一性和结构美。

(3) 维护上的要求

当设备出现故障时，应便于检查及排除，对易损部件应便于更换。

(4) 应适应使用环境条件和工作条件

2. 系统性能方面的要求

(1) 热设计

是指为了有利于整机和部件的散热和冷却,对有关发热元器件的排列及导热途径、风机、通风孔的安排等设计问题。

(2) 强度、刚度设计

是指有关整机及部件在保证强度、刚度的前提下,为减轻重量而考虑的各种结构措施及整机、部件耐振动抗冲击的性能设计问题。

(3) 部件设计

主要指有关结构件、插接件等强度和耐用性能的设计。

(4) 电磁兼容性结构设计

是指电子设备电路单元间、电子设备间由于电磁感应、电源馈线和地线传导等造成的干扰而进行的电磁屏蔽及接地的设计。

(5) 耐环境性能设计

有关耐湿性、耐水性、气密性和防尘、防雷等的设计问题。

3. 制造和安装方面的要求

整机及部件的设计应便于加工、组装、安装、运输。部件间应有良好的互换性。

4. 安全方面的要求

对设备的高压、高温等危险部位应有遮蔽及极明显的警告标帜。应避免整个设备有异常尖角。应注意防暴、防坠落及机壳接地等安全措施。

5. 设备的寿命和可靠性要求

现代电子设备不但应有一定的使用寿命,而且要求在规定的时间内无故障工作时间长,即使出现故障也要能迅速排除,恢复正常,它表现为设备的寿命及可靠性指标上,在进行设计时(包括电的和结构的)必须予以充分保证。

6. 贯彻执行标准化,规格化,系列化要求。

7. 产品造型的艺术性要求。

由此可见,对电子设备结构物的要求涉及的面很广,因此其结构设计必然包含相当广泛的技术内容:如电子学、机械学、化学、物理、材料等一系列学科,特别是随着电子计算机技术的发展,人们已经采用计算机辅助设计、辅助制造、辅助绘图、辅助布线等技术,从而改进和优化电子设备的结构性能,提高电子设备的生产效率和可靠性。本教材对此不可能作全面论述,只能为电子设备结构设计提供必要的基础知识。

目 录

绪言	
第一章 电子设备的工作环境因素及其防护	
§ 1—1 电子设备工作环境因素的种类	1
§ 1—2 电磁干扰及其屏蔽	2
§ 1—3 电子设备振动与冲击防护	16
§ 1—4 电子设备的散热	29
第二章 电子设备箱柜结构设计	
§ 2—1 概述	49
§ 2—2 电子设备箱柜的功用及一般设计步骤	50
§ 2—3 电子设备组装系统与尺寸系列	51
§ 2—4 结构件的刚度	53
§ 2—5 机柜设计	59
§ 2—6 台式仪表机箱的结构	73
§ 2—7 控制台的结构	76
§ 2—8 插箱与插件的结构	79
第三章 电子设备造型中的人机工程学	
§ 3—1 概述	82
§ 3—2 调节反应时间	83
§ 3—3 操作的准确性	84
§ 3—4 环境对人的影响	85
§ 3—5 人体测量	85
§ 3—6 机柜及控制台的面板布置	94
§ 3—7 手动控制器	97
§ 3—8 显示器	100
§ 3—9 控制器与显示器在面板上的布置	106
第四章 电子产品造型与色彩	
§ 4—1 概述	110
§ 4—2 电子产品造型的美学规律	110
§ 4—3 电子产品的色彩	126
§ 4—4 面板的造型设计	135
第五章 印制线路板的设计	
§ 5—1 概述	141
§ 5—2 印制线路排版设计的基本知识	145
§ 5—3 印制线路排版设计应考虑之点	160
§ 5—4 排版设计草图的绘制	164
§ 5—5 印制板工作图的绘制	173
主要参考书目	176

第一章 电子设备的工作环境因素及其防护

§1-1 电子设备工作环境因素的种类

电子设备在工作、运输和储存过程中，往往受到各种环境因素的影响，可能导致设备的性能降低或损坏。因此，必须采取防护措施，从而保证电子设备能够正常、可靠地工作。

电子设备受到的环境因素主要包括：气候环境因素、机械环境因素、电磁环境因素、生物、化学环境因素和幅射环境因素等。

一、气候环境因素

主要指温度、湿度、气压、风力、砂尘、雨雪、太阳幅射等各种自然气候因素。其中温度(尤其是高温、低温及其循环变化)对电子产品的影响最大。因此，为了保证电子元器件或整机在允许的温度范围内工作，必须采取各种有效的温度控制措施。

二、机械环境因素

主要指电子设备在工作或运输过程中受到诸如振动、冲击、离心力等机械力的作用。其中以振动和冲击对设备的危害最大，因此必须对电子设备采取隔振及隔冲措施。

三、电磁环境因素

指电子设备在工作过程中受到外来或内部产生的电磁干扰，当这些干扰超过允许值时，将使电子设备性能降低，甚至无法工作。为此应对电子设备采取屏蔽、接地等防护措施，从而降低电磁干扰。

四、幅射环境因素

主要指太阳幅射、核幅射。在这种环境下工作的电子设备或元器件将受到损害，甚至不能工作。太阳幅射会使设备过热及光老化，造成元器件损坏，如塑料老化，油漆退色和剥落，橡胶老化或开裂等。核幅射将使电子设备或元器件受到中子流、 α 、 β 、 γ 射线及软射线的幅射。某些中子流及 γ 射线还会穿透屏蔽物，致使半导体器件损坏。核爆炸造成的电磁脉冲和核幅射，将导致电子设备的严重破坏。为此，必须对电子设备采取防护措施。

五、生物、化学环境因素

电子设备在高温、盐雾或有大量工业气体(如二氧化硫、氨气、水蒸气等)的环境中工作时，设备中的金属材料和非金属材料会产生腐蚀、老化和霉烂现象，从而影响设备正常工作。因此，应采取必要的防护措施，主要是防腐蚀、防潮湿、防霉菌。

1. 防腐蚀

电子设备中的金属材料与腐蚀介质发生化学或电化学反应，从而导致金属的腐蚀。如某些金属零部件或结构件长期暴露在大气中，受水蒸气的作用，就会在金属的表面形成氧化物和盐类，这就是腐蚀。腐蚀从金属表面开始逐步深入内部，使金属零件的机械性能变坏甚至失效；用于导电的金属零件也将剧烈降低导电性能，增加损耗或产生接触不良。电子设备中的非金属材料在潮湿环境条件下将受到霉菌的侵蚀，从而导致机械强度降低，物理性能和电性能变坏。防腐蚀的方法主要有：

- (1) 选择恰当的耐腐蚀材料。如在海洋盐雾环境中选用钛合金或青铜。
- (2) 采用耐腐蚀的覆盖层。如电镀，油漆，化学处理等。
- (3) 合理地设计结构件。如避免滞留水或水蒸气的空间，以减少造成金属腐蚀的条件。

2. 防潮湿

电子设备受到潮湿空气的侵蚀，会在元器件或材料表面凝聚一层水膜，并渗透到材料内部，从而造成绝缘材料的表面电导率增加，体积电阻率降低，介值损耗增加，导致零部件电气短路、漏电或击穿等。潮气还能引起覆盖层起泡甚至脱落，使其失去保护作用。防潮湿的主要方法有两种：

(1) 密封。将电子器件封闭起来，使其不与外界空气、水等接触。某些元器件也可用热熔状态下的树脂或其他材料进行灌封。

(2) 涂覆或浸渍防潮涂料，将电子设备的零部件表面喷涂环氧绝缘清漆或其它防潮绝缘材料。对某些零部件(如线圈绕组，变压器等)也可浸渍防潮绝缘材料。

3. 防霉

在潮湿的空气及适宜的温度下，霉菌生长繁殖很快，致使各种材料表面产生霉变，造成金属材料的腐蚀与非金属材料表面绝缘性能的降低。此外，设备长霉也影响美观。防霉的主要方法有：

(1) 控制环境条件。如生产车间、库房等采用空调或其它措施以消除霉菌生长的条件。

(2) 使用防霉材料，即根据设备工作环境的要求选择有防霉特性的材料。如热固塑料，云母制品等。

(3) 应用防霉剂、干燥剂等。

§1-2 电磁干扰及其屏蔽

1. 概述

电子设备的内部及外部都存在着各种电磁干扰。所谓外部电磁干扰，是指设备除所要接收的电磁波信号以外的其它电磁波的干扰，这些电磁波是通过外壳或输入馈线等途径输入设备内部的。如汽车火花栓打火所产生的高频电磁波，通过天线输入到电视机中，在屏幕上可以看到不规则的亮点，这就是火花干扰。所谓内部电磁干扰，是指设备内部电路单元之间、元器件之间及导线之间的电磁方面的干扰。如收音机中因变压器的漏磁场而产生

的干扰。另外，电源馈线及地线也会产生传导干扰。如电子设备内共用电源或地线造成的共阻抗干扰。在电子设备内这些电磁干扰，我们统称寄生耦合。采用屏蔽可以抑制场的干扰。合理地设计电源馈线和接地系统以及正确地进行滤波，可以抑制传导干扰和场的干扰。

用导电或导磁材料制成的用以抑制电场、磁场及电磁场干扰的盒、壳、板和栅等称为屏蔽。根据其抑制功能不同，可分为电屏蔽、磁屏蔽及电磁屏蔽(对具体的屏蔽来说常常可兼有几种功能)。

电屏蔽：用于抑制共地电路之间的电场干扰的屏蔽物，即抑制寄生的电容耦合。

磁屏蔽：用以衰减恒定或低频磁场的屏蔽物。

电磁屏蔽：用于衰减高频电磁波的屏蔽物，即抑制电磁场的干扰。

凡是能幅射电磁能量，并影响其它电路工作性能的都统称为感应源(或干扰源)；而受到外界电磁干扰的电路都统称为受感器。由于电路之间是相互作用的，因此感应源和受感器是相对的。如两条相距很近的导线A和B，A中流过500kHz的高频电流，B中流过1000kHz的高频电流。由于电磁感应，在A中也感应了少量1000kHz的电流，在B中也感应了少量500kHz的电流。因此，如果对500kHz的高频电流来说，A是感应源B是受感器。反之，对1000kHz的高频电流，则B是感应源，A是受感器。屏蔽的作用对感应源来说，就是将幅射的电磁能量限制在一定的范围内，以减少对外界的影响。而对受感器来说，就是把外界的电磁能量与受感器隔开，以减少外界的影响。

二、电场屏蔽及屏蔽物的结构

1. 电磁屏蔽原理

电场屏蔽的最简单方法是在感应源与受感器之间加一块接地良好的金属板，这样就可以达到屏蔽的目的。

设有两条导线，见图1-1(a)，其中导线g为感应源，导线s为受感器，在导线g上有高频电压 E_g ，导线g与导线s间的分布电容为 C_{gs} ，导线s与地的分布电容为 C_s ；由于 E_g 及 C_{gs} 、 C_s 的存在，使s产生的感应电压为 U_s ，则

$$U_s = E_g \frac{C_{gs}}{C_s + C_{gs}} \quad (1-1)$$

在两导线间加入金属板，并进行接地后，其电容分布情况见图1-1(b)。由图可见g与s间的分布电容为 C_1 与 C_2 串联并与 C'_{gs} 并联，由于 C'_{gs} 很小故暂可忽略。

为了说明金属板接地与不接地的两种屏蔽效果，我们先研究金属板不接地的情况，再导出接地的情况。图1-1(c)为金属板不接地的情况。

设 C_3 为金属板不接地时板单独对地的电容，显然金属板对地的总电容 C_1 为 C_2 与 C_3 串联后再与 C_3 并联(忽略 C'_{gs})即

$$C_1 = C_3 + \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}$$

设金属板对地的感应电压为 U_1 ，

$$U_1 = E_g \frac{C_1}{C_1 + C_s} = E_g \frac{C_1}{C_1 + C_3 + \frac{C_2 C_3}{C_2 + C_3}}$$

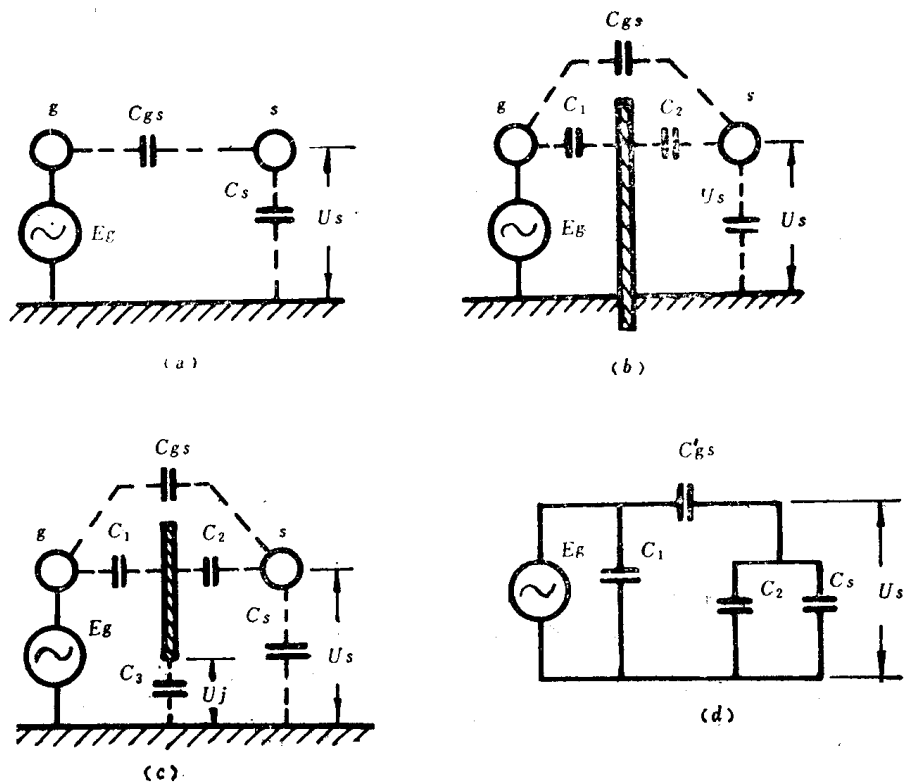


图 1-1

在此情况下

$$\begin{aligned}
 U_s &= U_j \frac{C_2}{C_2 + C_s} = E_g \frac{C_1}{C_1 + C_3 + \frac{C_2 C_s}{C_2 + C_s}} \cdot \frac{C_2}{C_2 + C_s} \\
 &= \frac{C_1 C_2}{(C_1 + C_3)(C_2 + C_s) + C_2 C_s} E_g \quad (1-2)
 \end{aligned}$$

当金属板良好接地时 $C_3 \approx \infty$ ，则由式(1-2)可知 $U_s \approx 0$ ，即受感器上的感应电压为0，也就是不受感应源的影响，从而得到了屏蔽。实际上由于金属板的面积不是无限大，所以 $C_3' \neq 0$ ，因此 U_s 不可能等于零。在考虑 C_3' 的情况下，其电容分布的等效电路如图1-1(d)。

因此屏蔽接地后的感应电压

$$U_s = E_g \frac{C_3'}{C_3' + (C_2 + C_s)} \quad (1-3)$$

将式(1-6)与式(1-3)进行比较，可见：因 $C_3' < C_3$ ， $C_2 > C_s$ ，因此由式(1-3)所得出的 U_s 远小于由式(1-1)所得出的 U_s 。所以接地良好的有限面积的金属板也具有良好的屏蔽效果。

我们再来研究金属板没有接地的情况：

由于 C_3 比 C_1 ， C_2 ， C_s 都小，因此可以忽略不计。即 $C_3 \approx 0$ ，则由式(1-2)得

$$\begin{aligned}
 U_s &= E_s \frac{C_1 C_2}{C_1(C_2 + C_3) + C_2 C_3} = E_s \frac{C_1 C_2}{C_1 C_2 + (C_1 + C_2) C_3} \\
 &= E_s \frac{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}}{\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} + C_3} \quad (1-4)
 \end{aligned}$$

由于金属板的面积比感应源和受感器之间形成电容的面积大得多，而且距离也较近，即 $C_1 \gg C_{33}$ ， $C_2 \gg C_{33}$ ，所以 $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} > C_{33}$ 。

比较式(1-4)与式(1-1)可知：由式(1-4)得出的 U_s 值大于式(1-1)得出的 U_s 值。由此可见金属板不接地，不仅没有起到电场屏蔽作用，而且更加大了其间的耦合。

根据对屏蔽原理的分析，要想减少电场所引起的寄生耦合，可采用如下措施：

- (1) 使相互耦合的两导线或两元器件相互远离以减少 C_{33} 。
- (2) 加金属屏蔽物，一般都做成壳、罩、板、栅等形状，并且有良好的接地。

2. 屏蔽物的常见结构要点

(1) 减少盒盖与盒体间的接触电阻。如图1-2(a)为在盒体上安装梳形簧片以增加盒盖与盒体间的接触点。图1-2(b)为将套有金属网的橡皮管填入盖与盒的凹槽内，利用螺钉、螺母紧固，从而改善盒盖与盒体的接触。

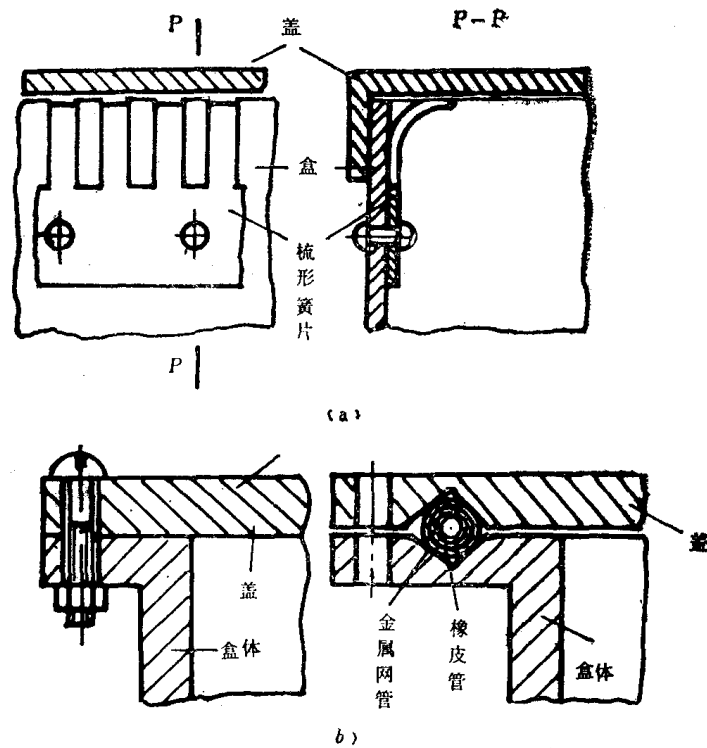


图 1-2

(2) 采用双层屏蔽盖结构可以进一步提高屏蔽的效能，见图1-3。这是因为盒体的内表面与内屏蔽盖构成一个屏蔽盒，而盒体的外表面与外层屏蔽盖又构成了一个屏蔽盒。因

此，可以大大提高屏蔽效果。

(3) 在有隔板的屏蔽盒体内采用分开的屏蔽盖，以减少其间的寄生耦合。图1-4(a)为在有一个隔板的屏蔽盒内采用一个屏蔽盖。图1-4(b)为采用两个分开的屏蔽盖，显然分开的屏蔽盖结构的屏蔽效果优于一个屏蔽盖的结构。

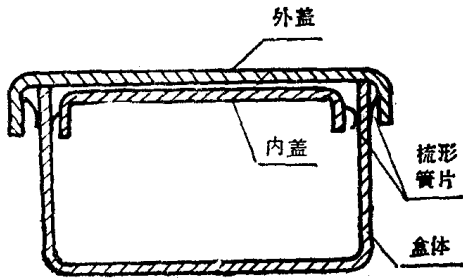


图 1-3

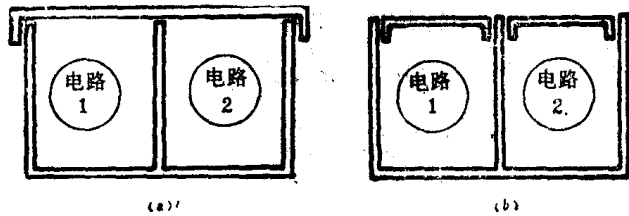


图 1-4

(4) 变量(压)器的电屏蔽。变量器的初、次级绕组之间存在较大的分布电容，若在两绕组间加一电屏蔽层并接地，可以减少它们之间的寄生耦合。图1-5为在变量器初、次级绕组间增加一层铜箔或铝箔(注意在搭接处应垫以绝缘条带以防短路)，并用导线引出接地。

(5) 印制导线屏蔽。图1-6(a)为单面印制板，在信号线之间设置接地的印制导线以起屏蔽作用。图1-6(b)为双面印制板，除在信号线之间设置接地导线之外，其背面铜箔也接地。

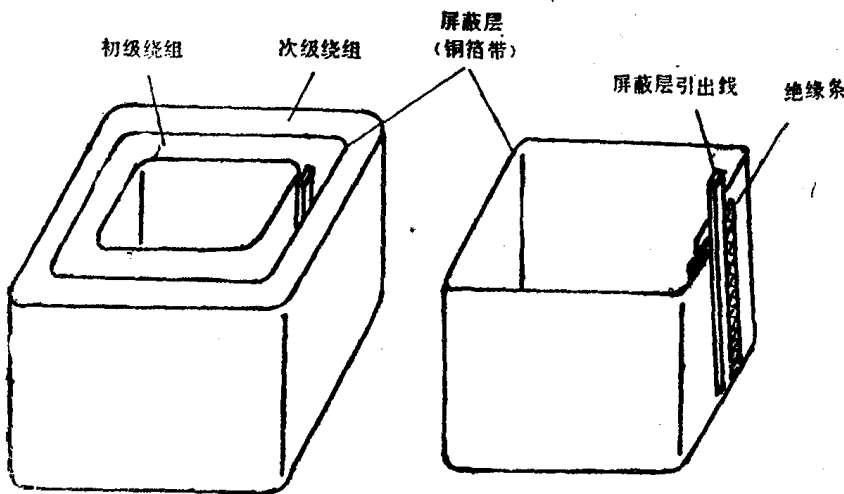
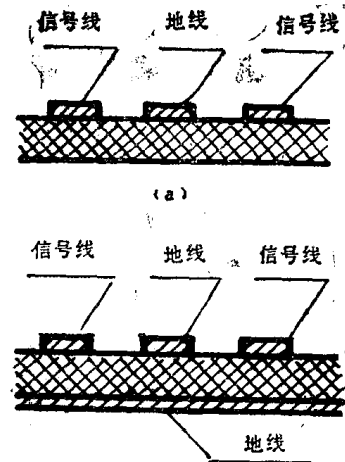


图 1-5



(b)

图 1-6

三、磁场屏蔽及屏蔽物的结构

1. 磁场屏蔽的原理

当导线或线圈内有电流通过时，就会在它的邻近空间产生磁场。如果线圈内的电流是随时间变化的，则在其邻近空间就会产生交变磁场，这种交变磁场就会对其邻近电路引起

干扰。

减少磁场干扰的方法除合理配置电路导线与元件外，对于恒定磁场及低频交变磁场，可以用磁屏蔽的方法来减少其干扰。应用具有高导磁率的材料(一般称铁磁材料)，如坡莫合金(即铁镍合金)等材料制成屏蔽盒对受感器加以屏蔽。由于干扰源产生的磁力线大部分从铁磁材料中通过，这样就减弱了屏蔽盒内空间的干扰磁场，因而起到了磁屏蔽的效果，如图1-7(a)所示。

同理，如磁屏蔽盒内是感应源，则屏蔽盒可以减少磁力线外漏，使外界不受感应源的干扰，见图1-7(b)。

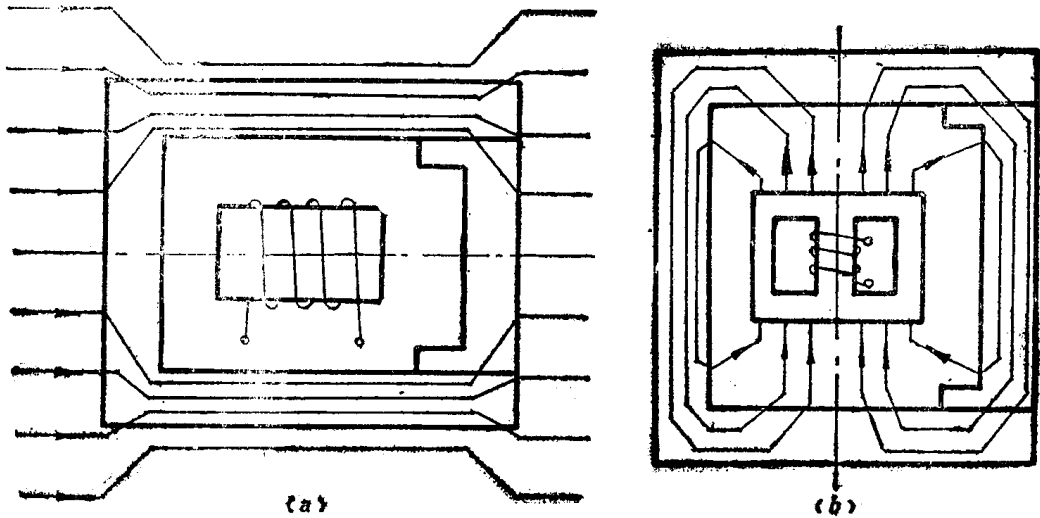


图 1-7

上述屏蔽方法从磁路的概念出发，其实质是起到屏蔽物分路的作用，因此屏蔽物的磁导率愈高，屏蔽物壁厚愈厚，磁屏蔽的效果就愈好。

2. 磁屏蔽物的结构要点

(1) 减小磁屏蔽盒在接口处的缝隙，合理设计被屏蔽物的安装位置。

磁力线通过屏蔽罩的接口缝隙处时，将会遇到很大磁阻，因此在设计时缝隙处应有较大的重叠(见图1-8(a)中的 h)，且应使配合紧密，尽量减小缝隙。应注意缝隙与磁力线的相对位置，不应使缝隙切断磁力线而增加磁阻。图1-8(a)的安装位置是正确的，图1-8(b)则不正确。

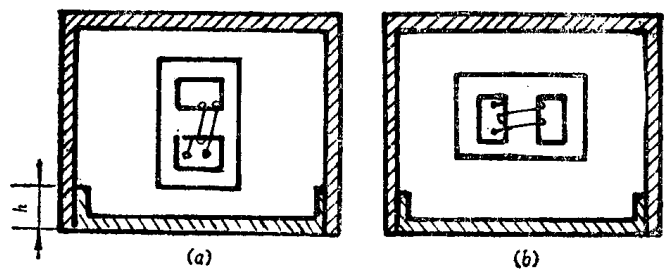


图 1-8

(2) 对屏蔽物上孔、洞的布置

磁屏蔽物上的通风孔排列应使其尽量不切断磁力线，以降低孔洞处的磁阻，如图1-9。

(3) 双层磁屏蔽

为了提高磁屏蔽的效果，除选用高导磁性能的材料外，还可以增加磁屏蔽罩的厚度，一般为1mm左右，最多不超出2mm，否则重量将大大增加，且加工困难，为此可以采用双层屏蔽，如图1-10。

四、电磁屏蔽及屏蔽物结构

1. 电磁屏蔽原理

电磁屏蔽就是对电磁场的屏蔽。

设有一厚度为 t 的无限大金属板，将空间分为两部分，若设定感应源在左部，当感应源发出的高频电磁波 P 自左向右传播至金属板的左表面，由于空气与金属是两种不同的媒质，于是在板的左表面产生反射，使一部分电

磁波 P_r （即反射波）向左传播。另一部分电磁波 P' 射入金属内部，继续向右传播，经过厚度为 t 后，电磁波 P' 衰减为 P'' ， P'' 到金属板的右界面时，又有一部分电磁波 $P_{r''}$ 反射回金属向左传播，另一部分 P''' 穿过右界面向右继续传播，见图1-11。

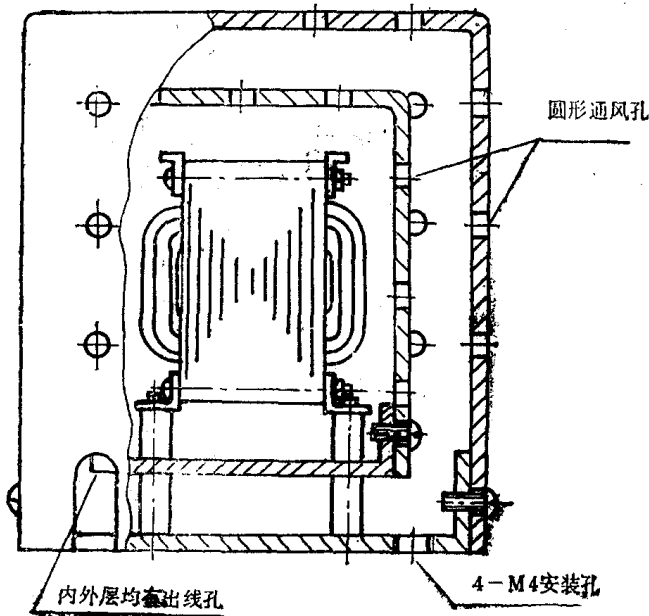


图 1-10

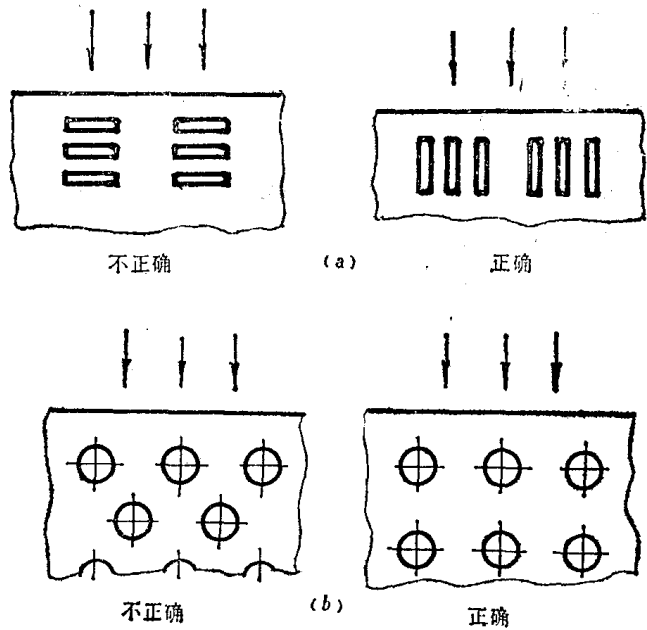


图 1-9

电磁波在金属内的损耗

表现为涡流损耗。涡流的密度随着透入金属内部深度的增加而按指数规律减小，因此涡流实际上主要发生在金属表层，且随电磁波的频率不同而变，频率愈高，涡流在表面的损耗就愈大。实际上板厚 t 并不需要很厚，经计算：

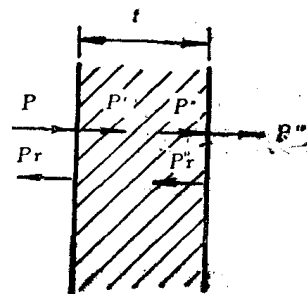


图 1-11

(1) 当 $f \geq 1\text{MHz}$ 时, 用 0.5mm 厚的任一种金属板做屏蔽物, 都可以使场强减弱至 $1/100$ 。

(2) 当 $f \geq 10\text{MHz}$ 时, 用 0.1mm 的铜箔制成的屏蔽物, 可以使场强减弱至 $1/100$ 。

(3) 当 $f \geq 100\text{MHz}$ 时, 可在绝缘材料上镀铜或银, 即可达到要求。

2. 电磁屏蔽的计算

(1) 屏蔽效果的计量

屏蔽效果 K 可用感应源屏蔽前后在空间某点所测量到的功率之比来计量, 用 dB 表示。

$$K(\text{dB}) = 10\lg \frac{P_0}{P_1} \quad (1-5)$$

式中 P_0 及 P_1 分别表示感应源屏蔽前后空间某点所测量到的功率。

为了计量方便, 式(1-5)也可以用电场强度或磁场强度来表示:

$$K(\text{dB}) = 20\lg \frac{E_0}{E_1} = 20\lg \frac{H_0}{H_1} \quad (1-6)$$

式中 E_0 , H_0 , E_1 , H_1 分别表示屏蔽前后某点的电场及磁场强度。

式(1-5)及式(1-6)也可用于受感器, 这时屏蔽效果 K 表示受感器上感应的能量在屏蔽后所衰减的值。

(2) 金属板的电磁屏蔽效果

用一块金属板放在感应源和受感器之间, 感应源幅射出来的电磁波通过金属板时, 就会因金属板的吸收和反射作用而衰减, 因而得到屏蔽效果。

此时电磁波穿过金属板时, 被金属板吸收的那部分能量称为吸收损耗, 用 A 表示; 被金属板反射回去的那部分能量称为反射损耗, 用 R 表示, 则总的屏蔽效果 S 为

$$S = R + A \quad (\text{dB}) \quad (1-7)$$

根据有关计算, 即可得到金属板的吸收损耗 A 的公式如下:

$$A = 0.131t \cdot \sqrt{f\sigma_r\mu_r} \quad (1-8)$$

式中: A ——金属板的吸收损耗 (dB)

t ——金属板的厚度 (mm)

f ——频率 (Hz)

σ_r ——材料对铜的相对电导率, 见表1-1

μ_r ——材料对真空(空气)的相对磁导率, 见表1-1。由于一些铁磁材料其 μ_r 值与频率有关, 故表1-2列出了钢的相对磁导率 μ_r 与频率 f 的关系。

根据有关计算, 对金属板反射损耗的计算如下:

(1) 当感应源到屏蔽金属板的距离较近, 即 $r \leq \frac{\lambda}{2\pi}$, 传到屏蔽板的电磁波是球面波, 我们称为近场。按场源特性可分为两种情况:

若场源是高电位小电流元件(如偶极子天线), 则近场主要是电场, 它的电场反射损耗