

**课程 LA000201**

**EMC基础知识**

**ISSUE 1.0**



## 目 录

课程说明 .....	1
课程介绍.....	1
培训目标.....	1
参考资料.....	1
第 1 章 序论.....	2
1.1 电磁兼容概述.....	2
1.2 电磁兼容性的基本概念 .....	2
1.2.1 电磁骚扰与电磁干扰 .....	2
1.2.2 电磁兼容性(EMC-Electromagnetic Compatibility) .....	2
1.2.3 电磁兼容常用名词术语 .....	3
1.3 电磁干扰.....	3
1.3.1 电磁干扰三要素 .....	3
1.3.2 电磁兼容研究的主要内容.....	4
1.4 基本的电磁兼容控制技术 .....	4
1.5 电磁兼容标准.....	5
1.5.1 电磁兼容标准的制订 .....	5
1.5.2 EMC标准拟订的理论基础.....	7
1.5.3 电磁兼容标准的分类 .....	7
1.5.4 产品的电磁兼容标准遵循原则.....	8
1.6 电磁兼容测试技术简介 .....	9
1.6.1 概述 .....	9
1.6.2 EMC测试项目 .....	9
1.6.3 电磁发射 .....	9
1.6.4 抗扰性EMS.....	9
1.7 EMC测试结果的评价.....	10
1.8 产品EMC设计的重要性 .....	10
1.9 产品的认证 .....	11
小结: .....	12
思考题: .....	12
第 2 章 EMC基础理论.....	13
2.1 电磁骚扰的耦合机理.....	13
2.1.1 引言 .....	13
2.1.2 电磁骚扰的常用单位 .....	13
2.1.3 传导干扰 .....	15
2.1.4 辐射干扰 .....	16
2.2 电磁干扰的模式.....	17
2.2.1 共模干扰与差模干扰 .....	17

2.2.2 PCB的辐射与线缆的辐射 .....	18
2.3 电磁屏蔽理论.....	19
2.3.1 屏蔽效能的感念 .....	19
2.3.2 屏蔽体上孔缝的影响 .....	20
2.4 电缆的屏蔽设计 .....	20
2.5 接地设计 .....	21
2.5.1 接地的概念.....	21
2.5.2 接地的种类.....	21
2.6 滤波设计 .....	22
2.6.1 滤波电路的基本概念 .....	22
2.6.2 电源EMI滤波器 .....	22
小结: .....	23
思考题: .....	23
<b>第3章 系统安装和维护 .....</b>	<b>24</b>
3.1 系统安装的EMC要求.....	24
3.1.1 概述 .....	24
3.1.2 系统环境要求.....	24
3.1.3 防整机安装.....	24
3.1.4 电缆布线要求 .....	25
3.2 系统维护 .....	27
3.2.1 防静电要求.....	27
3.2.2 系统检视 .....	27
3.2.3 系统干扰问题的处理 .....	27
小结: .....	28
思考题: .....	28

## 课程说明

### 课程介绍

本课程分三个章节，分别从概念，基本理论和系统方面简单介绍了 EMC 的基本概念、标准、测试内容，产品认证和电磁兼容的基本理论，最后介绍了系统安装和维护中的 EMC 问题。本教材主要针对系统使用维护类工程师，对 EMC 设计方面的内面较少，仅需了解即可。

### 培训目标

学完本课程后，学员能够：

- 掌握 EMC 的基本概念；
- 了解电磁兼容基本理论和方法；
- 掌握安装、维护工作中需注意的 EMC 问题点。

### 参考资料

- 屏蔽电缆      EMC 设计规范

# 第1章 序论

## 1.1 电磁兼容概述

电磁兼容是一门新兴的综合性学科。电磁兼容学科主要研究的是如何使在同一电磁环境下工作的各种电气电子设备和元器件都能正常工作，互不干扰，达到兼容状态。我公司的电磁兼容研究主要针对电气电子设备，同时也涉及到如生产中的静电放电、电磁辐射对人体的影响等方面。

## 1.2 电磁兼容性的基本概念

### 1.2.1 电磁骚扰与电磁干扰

电磁骚扰是指任何可能引起设备性能降低或对有生命物质产生损害作用的电磁现象。由机电或其他人为装置产生的电磁骚扰，称为人为骚扰；来源于自然现象的电磁骚扰，称为自然骚扰。

电磁干扰则是指由电磁骚扰引起的设备或传输通道性能的下降。所以骚扰和干扰的含义是不同的。从概念上讲，骚扰是一种电磁能量，干扰是骚扰产生的结果或后果。

电磁干扰产生于骚扰源；大量骚扰源的存在造成电磁环境污染，导致电磁兼容性问题尖锐化。主要表现在：

- 同时工作的电子设备的总数在增长，电子设备的数量每 4~5 年增加一倍；
- 发射机的功率在增加，如某些雷达的发射脉冲功率达几十甚至几百兆瓦；
- 许多无线电频段严重超载，以致对不同类型的电子设备不得不多次反复使用同一频段；
- 电子设备在运行时产生的电磁骚扰电平不断提高。如某些医疗设备运行时产生的干扰电平可达每米几百伏。

### 1.2.2 电磁兼容性(EMC-Electromagnetic Compatibility)

电子设备受电磁骚扰的影响而出现故障或性能降级，就称为设备对电磁骚扰敏感。如何在设备与电磁环境之间寻求一种协调的关系和共存的条件，这就是电磁兼容性技术。

### 1.2.3 电磁兼容常用名词术语

为了描述电磁骚扰与电磁兼容性，需要引入许多名词术语，国家军用标准 GJB72-85《电磁干扰和电磁兼容名词术语》一书有详细的内容，这里我们仅选其中的一部分介绍给大家。

#### **电磁兼容性 EMC (Electromagnetic Compatibility)**

设备在共同的电磁环境中能一起执行各自功能的共存状态，即该设备不会由于受到处于同一电磁环境中其他设备的电磁发射导致不允许的降级；也不会使同一电磁环境中其他设备因受其电磁发射而导致不允许的降级。

#### **电磁干扰 EMI (Electromagnetic Interference)**

电磁骚扰导致电子设备相互影响，并引起不良后果的一种电磁现象。

#### **辐射发射 RE (Radiated Emission)**

通过空间传播的、有用的或不希望有的电磁能量。

#### **传导发射 CE (Conducted Emission)**

沿电源或信号线传输的电磁发射。

#### **电磁敏感性 EMS (Electromagnetic Susceptibility)**

设备暴露在电磁环境下所呈现的不希望有的响应程度。即设备对周围电磁环境敏感程度的度量。电磁敏感意味着电磁环境已经造成设备性能的降低。

#### **辐射敏感度 RS (Radiated Susceptibility)**

对造成设备性能降级的辐射骚扰场的度量。

#### **传导敏感度 CS (Conducted Susceptibility)**

当引起设备性能降级时，对从传导方式引入的骚扰信号电流或电压的度量。

## 1.3 电磁干扰

### 1.3.1 电磁干扰三要素

- 电磁骚扰源，指产生电磁骚扰的元件、器件、设备或自然现象；
- 耦合途径或称耦合通道，指把能量从骚扰源耦合到敏感设备上，并使该设备产生响应的媒介；
- 敏感设备，指对电磁骚扰产生响应的设备。

所有的电磁干扰都是由上述三个因素的组合而产生的。把它们称为电磁干扰三要素。如下图所示。

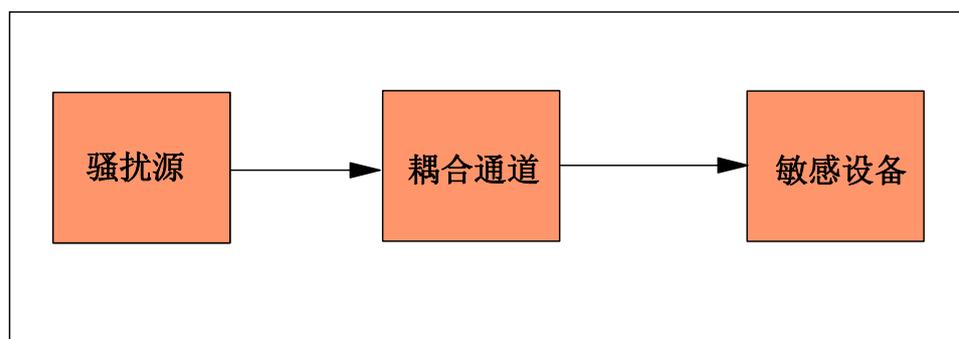


图1-1 电磁骚扰三要素

由电磁骚扰源发出的电磁能量，经过某种耦合通道传输到敏感设备，导致敏感设备出现某种形式的响应并产生效果。这一作用过程及其效果，称为电磁干扰效应。

### 1.3.2 电磁兼容研究的主要内容

电磁兼容学科研究的主要内容是围绕构成电磁干扰的三要素进行的，即对电磁骚扰源、耦合通道和敏感设备的研究。

骚扰源的研究包括其发生的机理、时域和频域的定量描述，以便从源端来抑制干扰的发射，通常采用滤波技术来限制骚扰源的频谱宽度和幅值。

骚扰的耦合通道有二条：1，通过空间辐射；2，通过导线传导。辐射发射主要研究在远场条件下骚扰以电磁波的形式发射的规律以及在近场条件下的电磁耦合。通常采用屏蔽技术来阻断骚扰的辐射。传导发射讨论骚扰延导线传输的影响。通常传导发射通过公共地线、公共电源线和互连线而实现。

电磁兼容的研究内容还包括电磁兼容控制技术、测量技术、分析预测等。

## 1.4 基本的电磁兼容控制技术

最常用也是最基本的电磁兼容控制技术是屏蔽、滤波、接地。此外平衡技术、低电平技术等也是电磁兼容的重要控制技术。随着新工艺、新材料、新产品的出现，电磁兼容控制技术也得到不断的发展。

### 1. 屏蔽

主要用于切断通过空间的静电耦合、感应耦合形成的电磁噪声传播途径，这三种耦合又对应于静电屏蔽、磁场屏蔽与电磁屏蔽，衡量屏蔽的质量采用屏蔽效能这一指标。

### 2. 滤波

在频域上处理电磁噪声的一种技术，其特点是将不需要的一部分频谱滤掉。

### 3. 接地

提供有用信号或无用信号，电磁噪声的公共通路。接地的好坏则直接影响到设备内部和外部的电磁兼容性。

## 1.5 电磁兼容标准

为了确保设备及其各单元必须满足的电磁兼容工作特性，国际有关机构、各国政府和军事部门以及其他相关组织制定了一系列的电磁兼容性标准。标准对设备电磁骚扰发射和电磁抗扰度作出了规定和限制。电磁兼容性标准是进行电磁兼容性设计的指导性文件，也是电磁兼容性试验的依据，因为试验项目、测试方法和极限值等到都是标准给定的。

### 1.5.1 电磁兼容标准的制订

电磁兼容标准主要通过标准化组织来制订，国际上制定电磁兼容的主要标准化组织如下表所示。

表1-1 国际上主要标准化组织和标准

国家或组织	制订单位	标准名称
IEC	CISPR	CISPR Pub.XX
	TC77	IEC XXXXX
欧共体	CENELEC	EN XXXXX
美国	FCC	FCC Part XX
	MIL	MIL-STD.XXX
德国	VDE	VDE XXX
日本	VCCI	VCCI

IEC(国际电工委员会)有两个平等的组织制订 EMC 标准,即 CISPR(国际无线电干扰特别委员会)和 TC77(第 77 技术委员会)。

CENELEC(欧洲电工标准化委员会)由欧共体委员会授权制订欧洲标准 EN (European Norm)。

FCC(美国联邦通信委员会)主要制订民用标准,关于电磁兼容的标准主要包括在 FCC Part15 和 FCC Part18 中。

MIL-STD 是美国军用标准。

德国的 VDE (电气工程师协会)是世界上最早建立电磁兼容标准的组织之一。

日本的 VCCI (干扰自愿控制委员会)是民间机构,其标准与 CISPR 和 IEC 标准一致。

我国的 EMC 标准化工作是在国家技术监督局的领导下进行的。国内标准以 GB、GB/T 开头。我国自从 1983 年发布第一个 EMC 标准 (GB3907—1983) 以来,至今已发布了 47 个有关的国家标准,其中 32 个强制,15 个推荐。我国的 EMC 标准绝大多数引进国际标准。其来源包括:

国际无线电干扰特别委员会出版物。例如 GB/T6113, GB14023

国际电工委员会。例如 GB4365, GB/T13926

部分引自美国军用标准。例如 GB15540

部分引自国际电信联盟有关文件。例如 GB/T15658

引自国外先进标准。例如 GB6833

根据我国自己的科研成果制定的标准，例如 GB/T15708 为了世界贸易的需要，我国的很多 EMC 标准都采用了 CISPR 和 IEC 标准。实际上，世界上大多数国家采用 CISPR 和 IEC 的标准。

### 1.5.2 EMC标准拟订的理论基础

EMC 标准的主要内容之一就是规定电磁骚扰和电磁抗扰度的极限值，极限值的制订在理论上应该满足下图所示的原则：

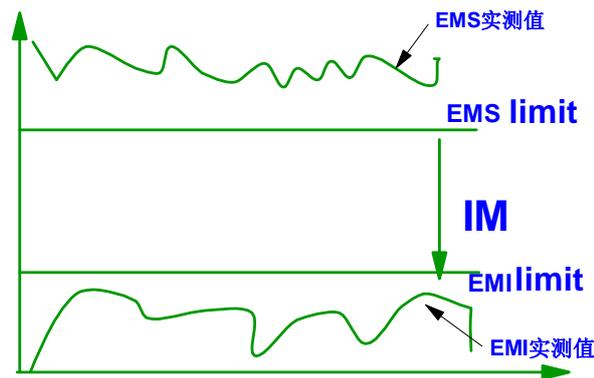


图1-2 EMC 标准拟订的理论基础

EMI 和 EMS 是相互对立的两个方面，上图说明，设备的 EMI 极限值与 EMS 极限值之间应该留有足够的余量（IM），即设备 EMI 发射要小于其抗扰度（EMS），这样设备才有足够的抗干扰能力。另一方面，设备的 EMI、EMS 实测值应该与极限值之间有足够的余量。比如在 EN300 386 标准中，辐射发射的极限值（EMI Limit）为 40dBuV/m，而辐射抗扰度极限值为 130dBuV。由此可见，EMI、EMS 极限值之间余量的重要性。

### 1.5.3 电磁兼容标准的分类

电磁兼容标准可以分为：基础标准、通用标准、产品类标准和专用标准。

基础标准是制订其他 EMC 标准的基础，它描述了 EMC 现象，规定了电磁骚扰发射和抗扰度的测试方法、测试设备和布置，同时定义了试验等级和性能判据，但并不涉及到具体的产品。例如： IEC61000-X-X 系列标准。

产品类标准和专用标准是针对某种产品系列和专用产品的 EMC 测试而制订的。它往往引用了基础标准的内容，同时根据产品的特殊性对测试作出更加详细的规定。对于骚扰发射测试，它规定了产品的骚扰发射限值。对于抗扰度试验，它规定了产品应该达到的试验等级和性能判据。如：

CISPR11 EN55011:ISM 工科医设备的发射要求

CISPR22 EN55022:ITE 信息技术设备的发射要求

CISPR24 EN55024:ITE 信息技术设备的抗扰性要求

GB6833 电子测量仪器电磁兼容试验规范

通常专用的产品 EMC 标准包含在某种特定产品的一般用途标准中，而不形成单独的 EMC 标准。例如：计算机：GB9813—88：微型数字电子计算机通用技术条件其中包括电磁兼容检测项目，要求按 GB6833.2~GB6833.6、GB9254 进行。

通用标准是按照产品使用的环境来分类的，例如欧洲标准中分类是按下表进行的。通用标准规定了设备应该在哪些端口作发射和抗扰度试验，包括设备的交、直流电源端口、信号和数据线端口、机壳、接地点等，同时也规定了可以依据的基础标准。

如： EN50082-1：居民区、商业区和轻工业区环境抗扰度通用标准

EN50082-2：工业区环境抗扰度通用标准

EN50081-1：居民区、商业区和轻工业区环境发射通用标准

EN50081-2：工业环境的发射通用标准

表1-2 欧洲通用标准的分类

使用环境	通用发射标准	通用抗扰度标准
民用、商用、轻工业区	EN50081-1	EN50082-1
工业区	EN50081-2	EN50082-2

#### 1.5.4 产品的电磁兼容标准遵循原则

产品依照标准的原则依照如此的顺序：专用产品类标准→产品类标准→通用标准

即一个产品如果有专用产品类标准，则他的 EMC 性能应该满足专用产品类标准的要求；如果没有，则应该采用产品类标准进行 EMC 试验，如果没有产品类标准，则用通用标准进行 EMC 试验，以此类推。

## 1.6 电磁兼容测试技术简介

### 1.6.1 概述

电磁兼容测试是根据有关电磁兼容标准规定的方法对设备进行测试,评估其是否达到标准要求。产品在定型和进入市场之前 EMC 性能必须达到标准要求。

### 1.6.2 EMC测试项目

EMC 测量主要分两大类: 电磁干扰 EMI (Electromagnetic Interference) 测试和电磁抗扰性 EMS (Electromagnetic Susceptibility) 测试。

### 1.6.3 电磁发射

#### 1. 辐射发射RE (Radiated Emission)

测试通过空间传播的电磁能量。

#### 2. 传导发射CE (Conducted Emission)

测试沿电源线、控制线或信号线传播的电磁能量。

### 1.6.4 抗扰性EMS

#### 1. 辐射敏感度试验RS (Radiated Susceptibility) :

测试被试设备对空间电磁骚扰的抗扰性。

#### 2. 工频 磁场辐射敏感度试验PMS (Power frequency magnetic susceptibility)

检验电子电气产品对工频磁场的抗扰性。

#### 3. 射频场感应的传导敏感度CS (Conducted susceptibility)

测试被试设备对沿电源线、控制线或信号线传输的电磁能量的敏感度。

#### 4. 电快速瞬态脉冲群抗扰度EFT /B (Electrical fast transient burst)

模拟对电感性负载的切换(如继电器、接触器);对高压开关的切换(如真空开关、六氟化硫)设备的干扰。放电波形为 5ns/50ns(上升沿 5ns,半波时间 50ns)的脉冲串,脉冲串持续时间 15ms,脉冲周期为 300ms。特点是上升时间快、持续时间短、能量低,但有较高的重复频率。

## 5. 浪涌抗扰度SURGE

模拟电网中的故障；雷击（直接或间接）对设备的干扰，电网中的开关操作。放电波形为开路电压 1.2us/50us、短路电流 8us/20us 的脉冲。特点是上升时间慢（相对 EFT/B）、持续时间较长、能量大。

## 6. 电压跌落与中断抗扰度DIP/interruption

模拟由低压、中压或高压网络中的故障所造成（短路或接地故障）的电压瞬时跌落和中断；以及由连接到电网的负荷连续变化引起的电压变化。

## 7. 电力线感应/接触（Power induction/contact）

模拟室外信号线与电力线距离过近或接触故障。

## 8. 静电放电抗扰度ESD（Electrostatic discharge）

模拟操作人员或物体在接触设备时的放电以及人或物体对邻近物体的放电。

# 1.7 EMC测试结果的评价

对 EMI 测试结果以是否达到某个限制要求为准则；对于 EMS 试验，其性能判据可分为四个等级：

A 级：试验中性能指标正常；

B 级：试验中性能暂时降低，功能不丧失，试验后能自行恢复；

C 级：功能允许丧失，但能自恢复，或操作者干预后能恢复；

R 级：除保护元件外，不允许出现因设备（元件）或软件损坏或数据丢失而造成不能恢复的功能丧失或性能降低。

# 1.8 产品EMC设计的重要性

产品的 EMC 设计是保证产品的 EMC 性能，而产品的 EMC 性能的好坏直接涉及到电子产品的市场准入；随着电子设备的大量运用，各国都感觉到产品 EMC 性能的重要性，纷纷从法规上提出对进入本国市场的电子产品的 EMC 要求，如：

- 欧共体--89/336/EEC DIRECTIVE-----明确要求产品必须符合欧共体有关 EMC 标准要求，否则不得在欧共体市场销售。违者将可能受到罚金及市场禁入的惩罚。
- 美国则要求进入本国的通信产品必须符合 FCC PART15 与 68 的要求；

- 韩国则要求通信产品必须符合 EMC 要求，否则不发给入网证。
- 中国家电产品已强制执行 EMC 标准；通信电源产品 2001 年 10 月已开始执行 EMC 标准，而公司部分产品开发受此影响，进度推迟。

另外产品的 EMC 性能好坏，还关系到产品的稳定性，影响客户满意度；主要表现在：

- 产品 EMC 设计考虑不周易引起内部串扰，影响产品稳定性；
- 抗外部干扰能力差，工作难稳定；
- 产生干扰会引起客户投诉。

最后产品的 EMC 性能好坏还与产品的竞争力密切相关。相同的产品有还是没有通过 CE 认证在市场竞争中常常可以起到决定性的作用。

所以我们为了参与国际竞争，成为国际化的大公司就必须进行产品的 EMC 设计，解决产品的 EMC 问题。

## 1.9 产品的认证

产品通过特定的测试流程，表明产品符合相应政策、法令、法规的过程，称产品认证。以 CE 认证为例，简述产品认证的基本流程如下：

- 产品 EMC、安规性能达到标准要求；
- 提出认证要求，联系认证公司（Competent Body）进行认证测试（自我宣称方式不需要该步骤）；
- 认证公司给出认证证书（COC）、报告；
- 签署符合性声明（Declaration of Conformity，由专业实验室负责）；
- 在产品上贴上 CE 标志；

任何产品都要经过测试，发表 DOC 声明，加贴 CE 标记才能最后进入欧洲市场。其他国家的产品认证过程也与此相似。CE 标记如下图所示，可按比例缩放。



图1-3 CE 标记图

## 小结:

本节内容中，电磁兼容概念、电磁干扰是本节的重点掌握内容。

## 思考题:

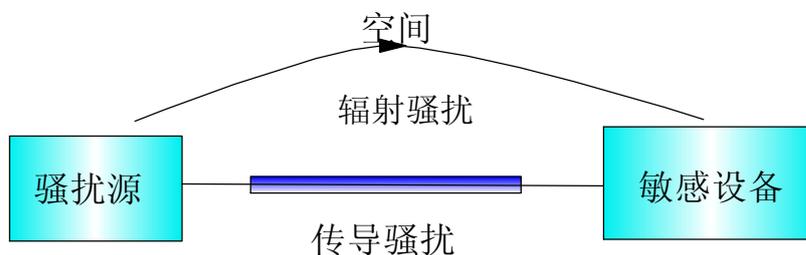
电磁干扰的三要素?

## 第2章 EMC基础理论

### 2.1 电磁骚扰的耦合机理

#### 2.1.1 引言

电磁骚扰传播或耦合，通常分为两大类：即传导骚扰传播和辐射骚扰传播。通过导体传播的电磁骚扰，叫传导骚扰；通过空间传播的电磁骚扰，叫辐射骚扰。



#### 2.1.2 电磁骚扰的常用单位

骚扰的单位通用分贝来表示，分贝的原始定义为两个功率的比：

$$\text{dB} = \text{Power ratio} = 10 \log P_1/P_2$$

$P_1$  20 W → Attenuation →  $P_2$  5 W

$$\begin{aligned} \text{dB} &= 10 \log \frac{20}{5} \\ &= 10 \log 4 \\ &= 6 \text{ dB} \end{aligned}$$

通常用 dBm 表示功率的单位，dBm 即是功率相对于 1mW 的值：

**dBm** = Power level = comparison relative to 1 mW

$$\text{dBm} = 10 \log \frac{P \text{ (watts)}}{0.001}$$

<b>P<sub>1</sub></b> 1 W		<b>P<sub>1</sub>'</b> 30 dBm
<b>P<sub>1</sub></b> 10 W		<b>P<sub>1</sub>'</b> 40 dBm

通过以下的推导可知电压由分贝表示为（注意有一个前提条件为 R1=R2）:

Power (W) =  $\frac{V^2}{R}$  therefore for P<sub>1</sub> and P<sub>2</sub> ...

$$P_1 = \frac{(V_1)^2}{R_1} \quad \text{and} \quad P_2 = \frac{(V_2)^2}{R_2}$$

Usually R<sub>1</sub> and R<sub>2</sub> are equal and very often 50 Ohm

$$\text{dB} = 10 \log \frac{(V_1)^2}{(V_2)^2}$$

$$\text{dB} = 20 \log \frac{(V_1)}{(V_2)}$$

通常用 dBuV 表示电压的大小，dBuV 即是电压相对于 1uV 的值。

$$\text{dB}\mu\text{V} = 20 \log \frac{V \text{ (volts)}}{10^{-6}}$$

<b>V<sub>1</sub></b> 1 V		<b>V<sub>1</sub>'</b> 120 dBμV
<b>V<sub>2</sub></b> 3 V		<b>V<sub>2</sub>'</b> ~130 dBμV
<b>V<sub>3</sub></b> 10 V		<b>V<sub>3</sub>'</b> 140 dBμV

对于辐射骚扰通常用电磁场的大小来度量，其单位是 V/m。通常用的单位是 dBuV/m。

## 2.1.3 传导干扰

### 共阻抗耦合

由两个回路经公共阻抗耦合而产生，干扰量是电流  $i$ ，或变化的电流  $di/dt$ 。

### 容性耦合

在干扰源与干扰对象之间存在着分布电容而产生，干扰量是变化的电场，即变化的电压  $du/dt$ 。

### 感性耦合

在干扰源与干扰对象之间存在着互感而产生，干扰量是变化的磁场，即变化的电流  $di/dt$ 。

#### 1. 共阻抗耦合干扰抑制方法

- 1) 让两个电流回路或系统彼此无关。信号相互独立，避免电路的连接，以避免形成电路性耦合。
- 2) 限制耦合阻抗，使耦合阻抗愈低愈好，当耦合阻抗趋于零时，称为电路去耦。为使耦合阻抗小，必须使导线电阻和导线电感都尽可能小。
- 3) 电路去耦：即各个不同的电流回路之间仅在唯一的一点作电的连接，在这一点就不可能流过电路性干扰电流，于是达到电流回路间电路去耦的目的。
- 4) 隔离：电平相差悬殊的相关系统（比如信号传输设备和大功率电气设备之间），常采用隔离技术。

#### 2. 容性耦合干扰抑制方法

为了抑制电容性干扰可以采取以下措施：

- 1) 干扰源系统的电气参数应使电压变化幅度和变化率尽可能地小；
- 2) 被干扰系统应尽可能设计成低阻；
- 3) 两个系统的耦合部分的布置应使耦合电容尽量小。例如电线、电缆系统，则应使其间距尽量大，导线短，避免平行走线；
- 4) 可对干扰源的干扰对象进行电气屏蔽，屏蔽的目的在于切断干扰源的导体表面和干扰对象的导体表面之间的电力线通路，使耦合电容变得最小；

#### 3. 感性耦合干扰抑制方法

- 干扰源系统的电气参数应使电流变化的幅度和速率尽量小；

- 被干扰系统应该具有高阻抗；
- 减少两个系统的互感，为此让导线尽量短，间距尽量大，避免平行走线，采用双线结构时应缩小电流回路所围成的面积；
- 对于干扰源或干扰对象设置磁屏蔽，以抑制干扰磁场。
- 采用平衡措施，使干扰磁场以及耦合的干扰信号大部分相互抵消。如使被干扰的导线环在干扰场中的放置方式处于切割磁力线最小(环方向与磁力线平行)，则耦合的干扰信号最小；另外如将干扰源导线平衡绞合，可将干扰电流产生的磁场相互抵消。

## 2.1.4 辐射干扰

### 1. 近场和远场

干扰通过空间传输实质上是干扰源的电磁能量以场的形式向四周空间传播。场可分为近场和远场。近场又称感应场，远场又称辐射场。判定近场远场的准则是以离场源的距离  $r$  也定的。

$r > \lambda / 2 \pi$  则为远场

$r < \lambda / 2 \pi$  则为近场

我们常用波阻抗来描述电场和磁场的关系，波阻抗定义为

$$Z_0 = E/H$$

在远场区电场和磁场方向垂直并且都和传播方向垂直称为平面波，电场和磁场的比值为固定值，为  $Z_0 = 120\pi = 377$  欧。下图为波阻抗与距离的关系。

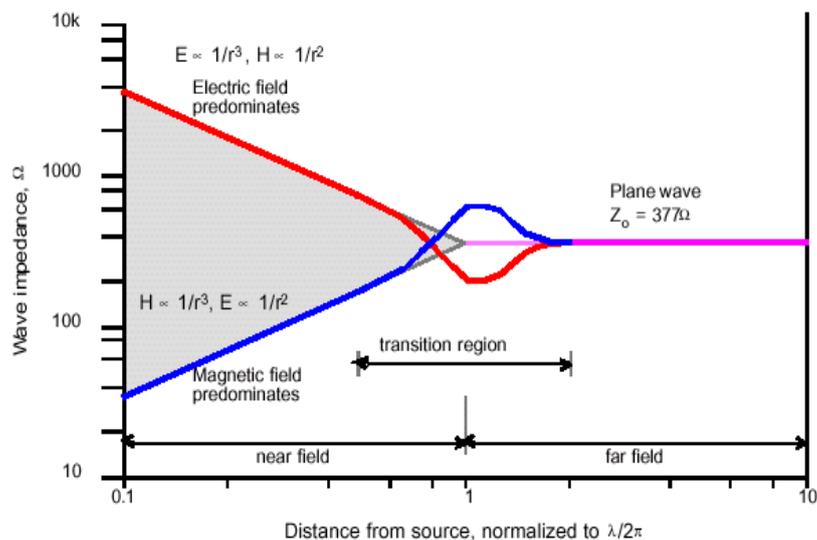


图2-1 远场与近场

## 2. 减少辐射干扰的措施

减小辐射干扰的措施主要有：

- 辐射屏蔽：在干扰源和干扰对象之间插入一金属屏蔽物，以阻挡干扰的传播。
- 极化隔离：干扰源与干扰对象在布局上采取极化隔离措施。即一个为垂直极化时，另一个为水平极化，以减小其间的耦合。
- 距离隔离：拉开干扰源与被干扰对象之间的距离，这是由于志在近场区，场量强度与距离平方或立方成比例，当距离增大时，场衰减很快。
- 吸收涂层法：被干扰对象有时可涂复一层吸收电磁波的材料，以减小干扰。

## 2.2 电磁干扰的模式

### 2.2.1 共模干扰与差模干扰

共模干扰（Common-mode）：两导线上的干扰电流振幅相等，而方向相同者称为共模干扰。

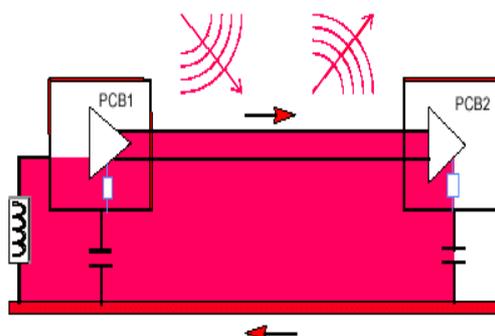


图2-2 共模干扰

差模干扰（Differential-mode）：两导线上的干扰电流，振幅相等，方向相反称为差模干扰。

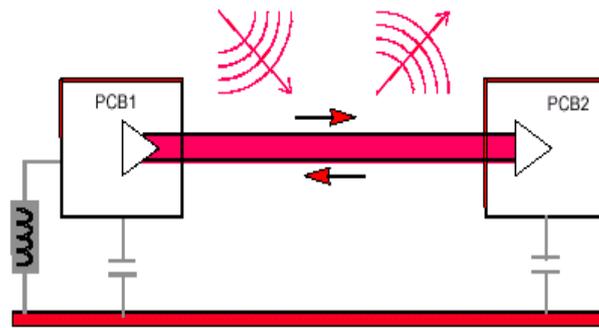


图2-3 差模干扰

## 2.2.2 PCB的辐射与线缆的辐射

### 1. PCB的辐射

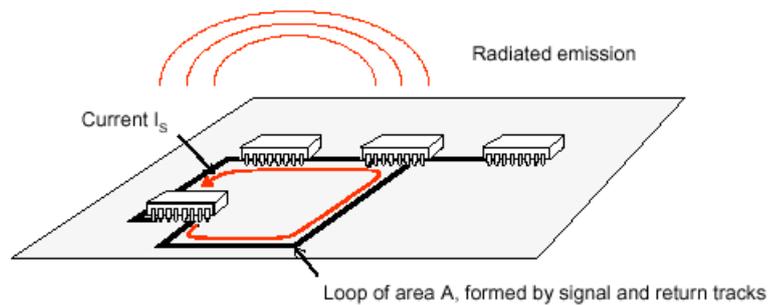


图2-4 PCB 的辐射

PCB 上有许多信号环路，由中有差模电流环也有共模电流环，计算其辐射强度时，可等效为环天线，辐射强度由下式计算：

$$E=263*10^{-16}f^2Al/r$$

其中

E:电场强度(V/m)

f :电流的频率(MHz)

A:电流的环路面积(cm<sup>2</sup>)

l :电流的强度(mA)

r :测试点到电流环路的距离(m)

## 2. 线缆的辐射

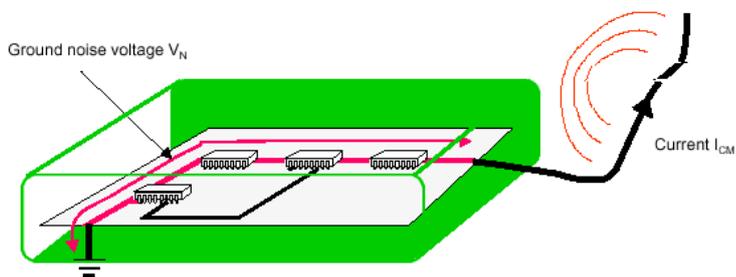


图2-5 线缆的辐射

计算线缆的辐射强度时，将其等效为单极天线，其辐射强度由下式计算：

$$E=12.6*10^{-7}fIL/r$$

其中

E:电场强度(V/m)

f :电流的频率(MHz)

L:线缆的长度(m)

I :电流的强度(mA)

r :测试点到电流环路的距离(m)

以上两式可以看出线缆的辐射效率远大于 PCB 的辐射效率。

## 2.3 电磁屏蔽理论

### 2.3.1 屏蔽效能的感念

屏蔽是利用屏蔽体来阻挡或减小电磁能传输的一种技术，是抑制电磁干扰的重要手段之一。屏蔽有两个目的，一是限值内部辐射的电磁能量泄漏出该内部区域，二是防止外来的辐射干扰进入某一区域。

电磁场通过金属材料隔离时，电磁场的强度将明显降低，这种现象就是金属材料的屏蔽作用。我们可以用同一位置无屏蔽体时电磁场的强度与加屏蔽体之后电磁场的强度之比来表征金属材料的屏蔽作用，定义屏蔽效能（Shielding Effectiveness，简称 SE）：

$$SE = 20 \lg \left( \frac{E_1}{E_2} \right)$$

，电场的屏蔽效能

$$SE = 20 \lg\left(\frac{H_1}{H_2}\right)$$
，磁场的屏蔽效能

式中： $E_1, H_1$ 为无屏蔽体时的电场强度和磁场强度，

$E_2, H_2$ 为有屏蔽体时的电场强度和磁场强度。

### 2.3.2 屏蔽体上孔缝的影响

实际上，屏蔽体上面不可避免地存在各种缝隙、开孔以及进出电缆等各种缺陷，这些缺陷将对屏蔽体的屏蔽效能有急剧的劣化作用。

上节中分析的理想屏蔽体在 30MHz 以上的屏蔽效能已经足够高，远远超过工程实际的需要。真正决定实际屏蔽体的屏蔽效能的因素是各种电气不连续缺陷，包括：缝隙、开孔、电缆穿透等。

屏蔽体上面的缝隙十分常见，特别是目前机柜、插箱均是采用拼装方式，其缝隙十分多，如果处理不妥，缝隙将急剧劣化屏蔽体的屏蔽效能。

## 2.4 电缆的屏蔽设计

如果导体从屏蔽体中穿出去，将对屏蔽体的屏蔽效能产生显著的劣化作用。这种穿透比较典型的是电缆从屏蔽体中穿出。

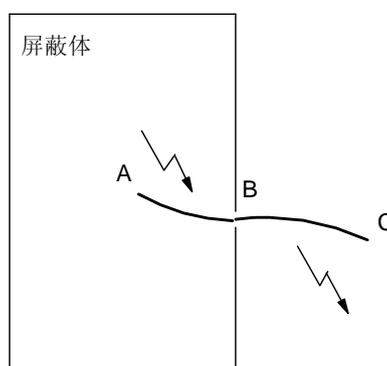


图2-6 电缆穿透原理图

电缆穿透的作用是将屏蔽体内外通过导线连通，等效于两个背靠背的天线，对屏蔽体的屏蔽有极大的影响。

为了避免电缆穿透对屏蔽体的影响，可以从几个方面采取措施：

- 采用屏蔽电缆时，屏蔽电缆在出屏蔽体时，采用夹线结构，保证电缆屏蔽层与屏蔽体之间可靠接地，提供足够低的接触阻抗。

- 采用屏蔽电缆时，用屏蔽连接器转接将信号接出屏蔽体，通过连接器保证电缆屏蔽层的可靠接地。
- 采用非屏蔽电缆时，采用滤波连接器转接，保证电缆与屏蔽体之间有足够低的高频阻抗。
- 采用非屏蔽电缆时，电缆在屏蔽体的内侧（或者外侧）要足够短，使干扰信号不能有效地耦合出去，从而减小了电缆穿透的影响。
- 电源线通过电源滤波器出屏蔽体，保证电源线与屏蔽体之间有足够低的高频阻抗。

## 2.5 接地设计

接地是抑制电磁干扰、提高电子设备电磁兼容性的重要手段之一。正确的接地既能抑制干扰的影响，又能抑制设备向外辐射干扰；反之错误的接地反而会引入严重的干扰，甚至使电子设备无法正常工作。

### 2.5.1 接地的概念

电子设备中的“地”通常有两种含义：一种是“大地”，另一种是“系统基准地”。接地就是指在系统的某个选定点与某个电位基准间建立低阻的导电通路。“接大地”就是以地球的电位作为基准，并以大地作为零电位，把电子设备的金属外壳、线路选定点等通过接地线、接地极等组成的接地装置与大地相连接。“系统基准地”是指信号回路的基准导体（电子设备通常以金属底座、机壳、屏蔽罩或粗铜线、铜带作为基准导体），并设该基准导体电位为相对零电位，但不是大地零电位，简称为系统地。

接地的目的有两个：一是为了安全，称为保护接地。电子设备的金属外壳必须接大地，这样可以避免因事故导致金属外壳上出现过高对地电压而危及操作人员和设备的安全。二是为电流返回其源提供低阻抗通道。

### 2.5.2 接地的种类

实际上，各种地线都存在电气上或是物理上的联系，不一定有明确的划分。在地系统中，有时一个地既承担保护地，又承担防雷地的作用；或既承担工作地，又承担保护地的作用。而不同功能的地连接，针对的电气对象不同，其处理方式的侧重点还会有所差异。

#### 1. 保护接地

保护接地是为了保护设备、装置、电路及人身的安全，防止雷击、静电损坏设备，或在设备故障情况下，保护人身安全。因此在设备、装置、电路的底盘及金属机壳一定要采取保护接地。

保护地保护原理是：通过把带故障电压的设备外壳短路到大地或地线端，保护过程中产生的短路电流使熔丝或空气开关断开，从而达到保护设备和人员安全的作用。

## 2. 工作接地

工作地是单板、母板或系统之间信号的等电位参考点或参考平面，它给信号回流提供了低的阻抗通道。信号质量很大程度上依赖于工作接地质量的好坏。由于受接地材料特性和其他技术因素的影响，接地导体的连接或搭接无论做的如何好，总有一定的阻抗，信号的回流会在工作地线上产生电压降，形成地纹波，对信号质量产生影响；信号越弱，信号频率越高，这种影响就越严重。尽管如此，在设计和施工中最大限度地降低工作接地导体的阻抗仍然是非常重要的。

## 2.6 滤波设计

### 2.6.1 滤波电路的基本概念

滤波电路是由电感、电容、电阻、铁氧体磁珠和共模线圈构成的频率选择性网络，低通滤波器是电磁兼容抑制技术中普遍应用的滤波器。为了减小电源和信号线缆对外辐射，接口电路和电源电路必须进行滤波设计。

滤波电路的效能取决于滤波电路两边的阻抗特性，在低阻抗电路中，简单的电感滤波电路可以得到 40dB 的衰减，而在高阻抗电路中，几乎没有作用；在高阻抗电路中，简单的电容滤波电路可以得到很好的滤波效果，在低阻抗电路中几乎不起作用。在滤波电路设计中，电容靠近高阻抗电路设计，电感靠近低阻抗电路设计。

电容器的插入损耗随频率的增加而增加，直到频率达到自谐振频率后，由于存在导线和电容器电极的电感在电路上与电容串联，于是插入损耗开始下降。

### 2.6.2 电源EMI滤波器

电源 EMI 滤波器是一种无源双向网络，它一端接电源，另一端接负载。在所关心的衰减频带的较高频段，可把电源 EMI 滤波器看作是“阻抗失配网络”。网络分析结果表明，滤波器阻抗两侧端口阻抗失配越大，对电磁干扰能量的衰减就越有效。由于电源线侧的共模阻抗一般比较低，所以滤波器电源侧的阻抗一般比较高。为了得到较好的滤波效果，对低阻抗的电源侧，应配高输入阻抗的滤波器；对高输入阻抗的负载侧，则应配低输出阻抗的滤波器。

普通的电源滤波器对于数十兆以下的干扰信号有较好的滤波作用，在较高频段，由于电容的电感效应，其滤波性能将会下降。对于频率较高的干扰情况，要使

用馈通式滤波器。该滤波器由于其结构特点，具有良好的滤波特性，其有效频段可以扩展到 GHz，因此在无线产品中使用较多。

滤波器的使用，最重要的问题是接地问题。只有接地良好的滤波器才能发挥其滤波作用，否则是没有价值的。滤波器使用要注意以下问题：

- 滤波器放置在电源的入口位置；
- 馈通滤波器要放置在机箱（机柜）的金属壁上；
- 滤波器直接与机柜紧密连接，滤波器下面不能涂保护漆；
- 滤波器的输入输出引线不能并行，交叉。

## 小结：

本节主要讲述了 EMC 的基本理论，电缆屏蔽设计、电磁屏蔽理论、接地设计是重点内容。

## 思考题：

接地的目的是什么？保护接地于工作接地的区别？

## 第3章 系统安装和维护

### 3.1 系统安装的EMC要求

#### 3.1.1 概述

对设备的电磁骚扰性而言,设计是保证其性能的关键,但离开良好的系统安装,再好的设备都可能有电磁兼容问题,因此系统的安装对电磁兼容性是非常重要的。

#### 3.1.2 系统环境要求

##### 1. 电磁环境一般要求

电场要求: 在 10KHz~10GHz 范围内, 环境电磁场强度不超过 130dBuv/m

(见通信机房环境条件 GF014—95)

在没有条件判别是否环境满足以上条件时, 可参考以下要求:

- 安装位置远离大型电机、UPS 电源、逆变器 10m 以上;
- 远离变电站 20m 以上;

##### 2. 静电要求

电信中心环境: 环境静电强度小于 200V

(见 YD/T 754—95 通信机房静电防护通则)

非电信中心环境: 环境静电强度小于 1KV

#### 3.1.3 防整机安装

##### 机柜安装注意事项:

- 机柜所有螺钉要紧固适当;
- 机柜门等活动部分与机柜接触良好, 没有缝隙;
- 并柜机柜在关门后, 中间不留下缝隙;
- 并柜互连线分布均匀, 搭接良好, 构成一个等势体;

##### 单板安装注意事项:

- 手抓单板前戴好带防静电手套，避免直接抓单板；
- 戴好防静电手腕，防静电手腕要接地；
- 取下的单板不要直接放在地上，桌子上等，要套上防静电袋；
- 拿单板时注意不要碰触单板上的器件，最好是拿单板的边沿；
- 单板不可重迭迭放；

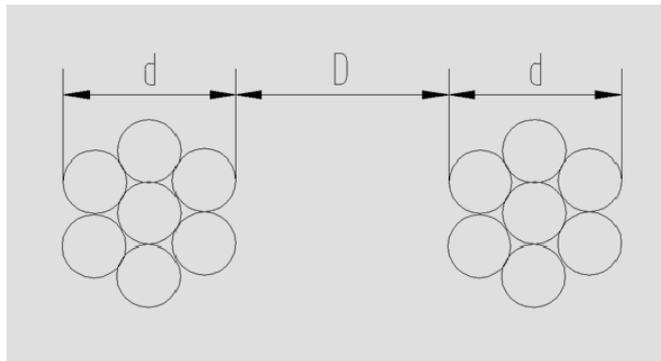
**电缆安装：**

- 电缆安装时，手不可接触连接器的芯线；
- 保证系统接地良好，接地线符合规范要求；

**3.1.4 电缆布线要求**

**电缆敷设一般原则：**

电磁发射电缆与电磁敏感电缆必须远离。最小间距遵循如下原则：



其中  $D$  为不同类电缆束间距， $d$  为各类电缆束的绑扎后的外径最大值，要求  $D > 10d$ 。

电缆尽量贴近机柜金属体敷设，但要避开长缝和直径大于 5mm 的开孔

禁止线缆出入屏蔽机柜而无任何屏蔽或滤波措施。线缆出入子架或机框应尽量采取屏蔽措施或滤波措施。

**电缆敷设间距要求**

各类电缆敷设最小间距：

表3-1 电缆敷设最小间距

分类	一类	二类	三类	四类
一类	0mm	150mm	100mm	200mm
二类	150mm	0mm	100mm	150mm
三类	100mm	100mm	0mm	150mm

四类	200mm	150mm	150mm	0mm
----	-------	-------	-------	-----

注：1、当表 4-2 中的数值不满足间距  $D > 10d$  的准则时，应当以该准则为准。

## 2、电缆的分类：

一类电缆：电磁发射电缆。如 220Vac 电源线，一次电源-48Vdc 输出线，机柜-48Vdc 电源线等。

二类电缆：电磁敏感性电缆。如视频电缆，音频电缆，监控信号线，用户电缆等。

三类电缆：既电磁发射又敏感电缆。如 HW 电缆，NOD 电缆，E1 电缆，网线，T1 电缆，V.24 电缆，V.35 电缆，串口线，加载电缆等。

四类电缆：专用电缆。如天馈线、射频电缆等。

（见公司《电缆 EMC 设计规范》）

当电缆敷设间距小于最小间距时，应采取隔离措施。例如：采用分隔的走线槽布线，穿金属管（金属管两端接地），加装屏蔽铠甲等手段。

### 机柜内部的电缆敷设一般要求：

- 一般按类敷设，每类电缆敷设在一起，与其它类电缆按表 4-3 的最小间距敷设。同类电缆中若传输信号电平差大于 40dB(即相差大于 100 倍)应再进行分组，直至每组传输信号电平差小于 40dB
- 电缆尽量靠近机柜屏蔽体、金属构架敷设，充分利用现存金属结构进行隔离，但一定要避免靠近机柜屏蔽体上的长缝和大开孔。
- 电源电缆与敏感信号电缆、模拟信号电缆与数字信号电缆应尽量敷设在机柜两侧，避免平行、靠近、长距离走线。无法避免时要采取隔离措施。
- 邻近电缆所传送信号的工作频率最好是分布在不同的频段，以避免互相串扰。但是频率差大于 100 倍或更高时就应该看作不同类的线分开绑扎。
- 机柜内的电源模块（如 DC/DC 模块）的输入线和输出线避免捆绑平行走线。
- 交流电源线和直流电源线应该分开捆绑。
- 小风扇电源线跟信号线不要捆扎在一起
- 信号线与电源线不要捆扎在一起

### 机柜外部的电缆敷设一般要求：

- 电源供电与信号电缆分开走线；
- 射频电缆与其他信号电缆分开走线；
- 尽量避免机柜上下同时出线；
- 电缆穿过屏蔽机柜时，电缆屏蔽层要与机柜紧密连接在一起，360 度搭接。禁止从散热孔中间穿线。

#### 特殊电缆敷设间距:

- 大功率发射天线的馈线与所有其它电缆的距离至少 200mm
- 低电平模拟信号电缆是极敏感电缆，与其它电缆距离至少为 150mm

## 3.2 系统维护

### 3.2.1 防静电要求

- 手抓单板前戴好带防静电手套，避免直接抓单板；
- 戴好防静电手腕，防静电手腕要接地；
- 取下的单板不要直接放在地上，桌子上等，要套上防静电袋；
- 拿单板时注意不要碰触单板上的器件，最好是拿单板的边沿；
- 单板不可重迭迭放；
- 插拔电缆时，手不可接触连接器的芯线；

### 3.2.2 系统检视

- 检查系统接地，保证系统接地良好；
- 维护后设备门处于关闭状态，保持原始屏蔽状态；
- 检查电缆布线没有被其他无关电缆覆盖，或与其他电缆走在一起；

### 3.2.3 系统干扰问题的处理

在网上运行的产品，有时会受到外来骚扰的影响，或接地系统出线干扰而影响设备正常工作。在此情况下，除检视上述问题外，还可做以下处理：

- 查看电源滤波器是否安装，其接地是否正常；
- 查看是否有电缆不当安装，造成屏蔽性能下降，如电缆穿过机柜，屏蔽层未接地等；
- 查看周围设备是否存在大型干扰源，如 UPS、逆变器，变电站，电机等。
- 查看显示器是否闪烁，变色等，如有这些现象，可能是收到磁场干扰，应查明磁场来源；
- 试行断开 E1 电缆的外皮，试行单端接地。如能改善，说明是地环路问题，应实行断开或混合接地（通过电容高频接地），根据实际效果选择；
- 查看是否与业务量有关，若是可能是系统自身串扰问题；
- 检查是否与初始安装有变化，包括位置，数量，种类等，若有可从变化的地方查起。

在以上方法不能解决时，请专业人员处理。

## 小结:

本节是整个 EMC 教材的重点内容，技术支援员工必须全面掌握。

## 思考题:

不同线缆为什么不能混扎？如发现设备出现莫明故障，排除软件、数据问题后仍无法解决问题，我们改怎么办？