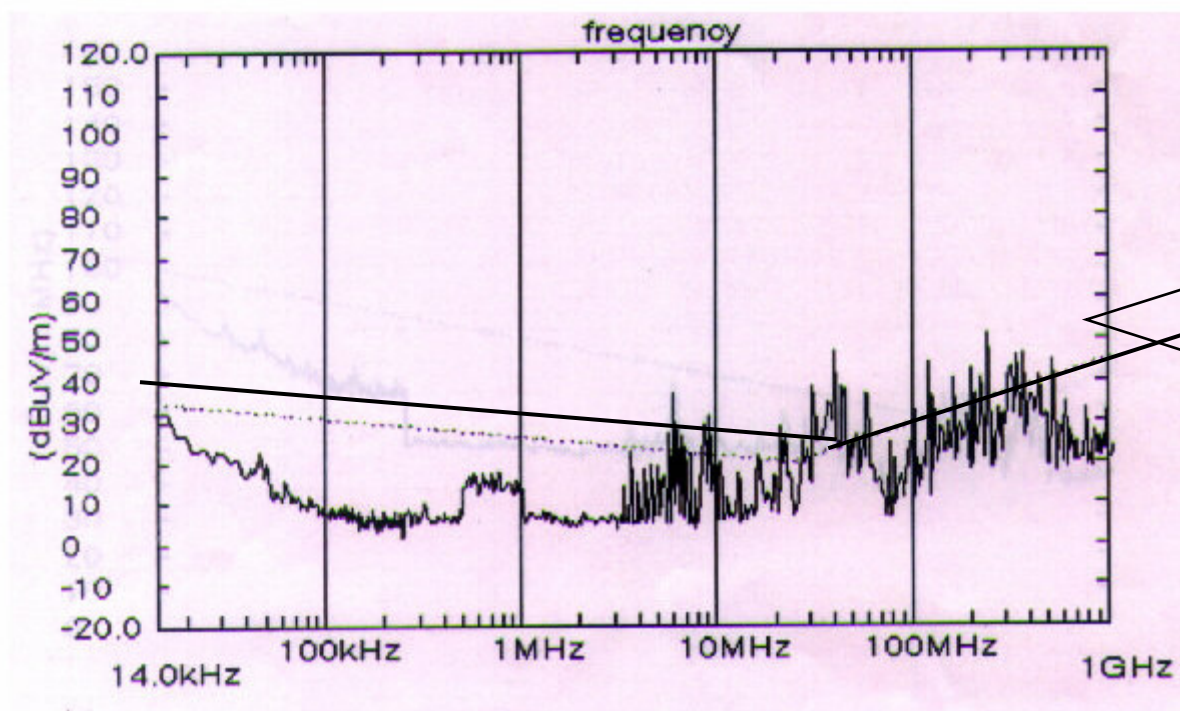


# 典型电子设备的屏蔽效能—屏蔽效能确定方法



根据电磁屏蔽定义，屏蔽效能（SE）可表示为

$$SE = \text{设备的预期（实际）发射—极限值} \quad (1)$$

$$SE = \text{敏感度极限值—设备预期（实际）的干扰响应阈值} \quad (2)$$

（1）式表示对于干扰源的抑制屏蔽效能；

（2）式表示对于受干扰设备抗干扰的屏蔽效能。

# 典型电子设备的屏蔽效能——军用设备

西安电子科技大学  
邱扬

## 计算机外设等设备与器件满足GJB151所需的屏效

电路	10kHz 至 30kHz	30kHz 至 100kHz	100kHz 至 300kHz	300kHz 至 1MHz	1MHz 至 3MHz	3MHz 至 10MHz	10MHz 至 30MHz	30MHz 至 100MHz	100MHz 至 300MHz	300MHz 至 1GHz	1GHz 至 3GHz	3GHz 至 10GHz
CRT 显示器（视频）	— 60~69 dB	— 50~59 dB	— 40~49 dB	— 30~39 dB	— 20~29 dB	80~89 dB 0~9 dB	80~89 dB -10~0 dB	70~79 dB —	50~59 dB —	30~39 dB —	-10~0 dB —	— —
CRT 显示器（水平同步）												
LED 显示器	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—	—	—	—
等离子体显示器	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	20~29 dB	10~19 dB	0~9 dB	0~9 dB	—	—	—
微处理器（Z-80）	—	—	—	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	50~59 dB	40~49 dB	20~29 dB	-10~0 dB	—	—
微处理器（1802）	—	—	—	60~69 dB	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	40~49 dB	10~19 dB	-10~0 dB	—	—
微处理器（2900）	—	—	—	—	—	70~79 dB	70~79 dB	60~69 dB	40~49 dB	30~39 dB	-10~0 dB	—
内存（100-200 纳秒存取）	—	—	—	—	—	70~79 dB	70~79 dB	60~69 dB	40~49 dB	20~29 dB	-10~0 dB	—
内存（200-500 纳秒存取）	—	—	—	—	60~69 dB	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	30~39 dB	0~9 dB	—	—
内存（500-700 纳秒存取）	—	—	—	60~69 dB	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	40~49 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—	—

# 典型电子设备的屏蔽效能——军用设备

西安电子科技大学

邱扬

## 计算机外设等设备与器件满足GJB151所需的屏效(续)

开关功率电源 (10-20kHz)	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	40~49 dB	30~39 dB	20~29 dB	-10~0 dB	—	—	—
	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	30~39 dB	20~29 dB	0~9 dB	—	—	—
	—	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	30~39 dB	20~29 dB	0~9 dB	—	—	—
开关功率电源 (20-50kHz)												
开关功率电源 (50-100kHz)												
打印机(打印头)	70~79 dB	70~79 dB	60~69 dB	60~69 dB	50~59 dB	40~49 dB	20~29 dB	10~19 dB	—	—	—	—
打印机(托架)	40~49 dB	40~49 dB	30~39 dB	30~39 dB	20~29 dB	10~19 dB	-10~0 dB	—	—	—	—	—
互连电缆(500kHz)	—	—	—	50~59 dB	50~59 dB	50~59 dB	40~49 dB	40~49 dB	20~29 dB	0~9 dB	—	—
互连电缆(5MHz)	—	—	—	—	—	40~49 dB	50~59 dB	50~59 dB	40~49 dB	20~29 dB	-10~0 dB	—

# 典型电子设备的屏蔽效能——军用设备

## 发射机满足GJB151辐射发射要求所需的屏效

功率等级	10kHz	30kHz	100kHz	300kHz	1MHz	3MHz	10MHz	30MHz	100MHz	300MHz	1GHz	3GHz
	至 30kHz	至 100kHz	至 300kHz	至 1MHz	至 3MHz	至 10MHz	至 30MHz	至 100MHz	至 300MHz	至 1GHz	至 3GHz	至 10GHz
1 瓦	30~39 dB	30~39 dB	40~49 dB	50~59 dB	60~69 dB	60~69 dB	70~79 dB	70~79 dB	70~79 dB	60~69 dB	50~59 dB	50~59 dB
10 瓦	40~49 dB	40~49 dB	50~59 dB	60~69 dB	70~79 dB	70~79 dB	80~89 dB	80~89 dB	80~89 dB	70~79 dB	60~69 dB	60~69 dB
100 瓦	50~59 dB	50~59 dB	60~69 dB	70~79 dB	80~89 dB	80~89 dB	90~99 dB	90~99 dB	90~99 dB	80~89 dB	70~79 dB	70~79 dB
500 瓦	50~59 dB	60~69 dB	70~79 dB	80~89 dB	80~89 dB	90~99 dB	100~109 dB	90~99 dB	90~99 dB	90~99 dB	80~89 dB	70~79 dB
1 千瓦	60~69 dB	60~69 dB	70~79 dB	80~89 dB	90~99 dB	90~99 dB	100~109 dB	100~109 dB	100~109 dB	90~99 dB	80~89 dB	80~89 dB
2 千瓦	60~69 dB	70~79 dB	70~79 dB	80~89 dB	90~99 dB	100~109 dB	100~109 dB	100~109 dB	100~109 dB	100~109 dB	90~99 dB	80~89 dB
5 千瓦	60~69 dB	70~79 dB	80~89 dB	90~99 dB	90~99 dB	100~109 dB	110~119 dB	100~109 dB	100~109 dB	100~109 dB	90~99 dB	80~89 dB
10 千瓦	70~79 dB	70~79 dB	80~89 dB	90~99 dB	100~109 dB	100~109 dB	110~119 dB	110~119 dB	110~119 dB	100~109 dB	90~99 dB	90~99 dB
50 千瓦	70~79 dB	80~89 dB	90~99 dB	100~109 dB	100~109 dB	110~119 dB	120~129 dB	110~119 dB	110~119 dB	110~119 dB	100~109 dB	90~99 dB

# 典型电子设备的屏蔽效能——民用设备

西安电子科技大学  
邱扬

电路	10kHz	30kHz	100kHz	300kHz	1MHz	3MHz	10MHz	30MHz	100MHz	300MHz	1GHz	3GHz
	至 30kHz	至 100kHz	至 300kHz	至 1MHz	至 3MHz	至 10MHz	至 30MHz	至 100MHz	至 300MHz	至 1GHz	至 3GHz	至 10GHz
CRT 显示器（视频）	— -10~0 dB	— -10~0 dB	— —	— —	— —	— —	30~39dB —	30~39dB —	10~19 dB —	0~9 dB —	-10~0 dB —	— —
CRT 显示器（水平同步）												
LED 显示器	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
等离子体显示器	—	—	-10~0 dB	-10~0 dB	-10~0 dB	-10~0 dB	—	-10~0 dB	—	—	—	—
微处理器（Z-80）	—	—	—	0~9 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	-10~0 dB	—	—	—	—
微处理器（1802）	—	—	—	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	10~19 dB	0~9 dB	—	—	—	—
微处理器（2900）	—	—	—	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	10~19 dB	-10~0 dB	—	—
内存（100-200 纳秒存取）	—	—	—	—	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	0~9 dB	—	—	—
内存（200-500 纳秒存取）	—	—	—	—	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	10~19 dB	—	—	—	—
内存（500-700 纳秒存取）	—	—	—	10~19dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	—	—	—	—
磁盘（软）	—	—	—	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	—	—	—	—
磁盘（硬）	—	—	—	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	-10~0 dB	—	—	—
开关功率电源（10-20kHz）	—	-10~0 dB	-10~0 dB	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—	—	—	—	—
开关功率电源（20-50kHz）	—	-10~0 dB	-10~0 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	0~9 dB	—	—	—	—
开关功率电源（50-100kHz）	0~9 dB	0~9 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	0~9 dB	—	—	—
打印机（打印头）	0~9 dB	0~9 dB	10~19 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—	—	—	—	—
打印机（托架）	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
互连电缆（500kHz）	—	—	—	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	0~9 dB	—	—	—	—
互连电缆（5MHz）	—	—	—	—	—	20~29 dB	20~29 dB	20~29 dB	0~9 dB	—	—	—

# 典型电子设备的屏蔽效能——民用设备

## 敏感电路及接收机满足MDS-201辐射敏感度所需的屏效

电路	10kHz	30kHz	100kHz	300kHz	1MHz	3MHz	10MHz	30MHz	100MHz	300MHz	1GHz	3GHz
	至 30kHz	至 100kHz	至 300kHz	至 1MHz	至 3MHz	至 10MHz	至 30MHz	至 100MHz	至 300MHz	至 1GHz	至 3GHz	至 10GHz
逻辑电路，TTL	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
逻辑电路，COMS	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
逻辑电路，LSTTL	—	—	—	—	—	—	—	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—
逻辑电路，STTL	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
逻辑电路，ECL	—	—	—	—	—	—	—	-10~0 dB	—	—	—	—
模拟增益带宽=1MHz	—	—	—	—	—	—	—	-10~0 dB	-10~0 dB	-10~0 dB	—	—
模拟增益带宽=10MHz	—	—	—	—	-10~0 dB	0~9 dB	0~9 dB	10~19 dB	10~19 dB	0~9 dB	-10~0 dB	—
模拟增益带宽=100MHz	—	—	—	—	-10~0 dB	0~9 dB	10~19 dB	30~39 dB	30~39 dB	30~39 dB	20~29 dB	10~19 dB
接收机 10 微伏敏感度	—	—	—	—	30~39 dB	40~49 dB	50~59 dB	60~69 dB	60~69 dB	70~79 dB	70~79 dB	70~79 dB
接收机 1 微伏敏感度	—	—	—	—	40~49 dB	50~59 dB	60~69 dB	70~79 dB	70~79 dB	80~89 dB	80~89 dB	80~89 dB
接收机 0.1 微伏敏感度	—	—	—	—	50~59 dB	60~69 dB	70~79 dB	80~89 dB	80~89 dB	90~99 dB	90~99 dB	90~99 dB

# 机柜的屏蔽技术指标

目前涉及有线、无线通信产品的电磁兼容标准主要有YDN065、IEC61587-3、ETS300 342-1、ETS300 342-2、ETS300 342-3等，其中YDN065、IEC61587-3适用于有线通信产品，ETS300 342系列标准适用于无线产品。

以19英寸机柜的标准为例，给出了IEC61587-3规定的屏蔽等级

等级	屏蔽效能 (dB)	
	频率范围 (MHz)	
	30~230	230~1000
1	20	10
2	40	30
3	60	50

# 机柜的屏蔽技术指标

**ETS 300 342系列标准（GSM标准）**涉及机柜屏蔽性能的要求为辐射发射及辐射敏感度。下给出了具体指标。

要求 \ 频率	频率 (MHz)	最大极限值 (dBm)
基站发射机机壳辐射杂散发射	30~1000	-36
	1000~4000	-30
基站接收机机壳辐射杂散发射	30~1000	-57
	1000~4000	-47
基站及固定附属设备辐射敏感度	80~1000	ENV50140

从表中可以看出，GSM设备要求的上限频率为4GHz

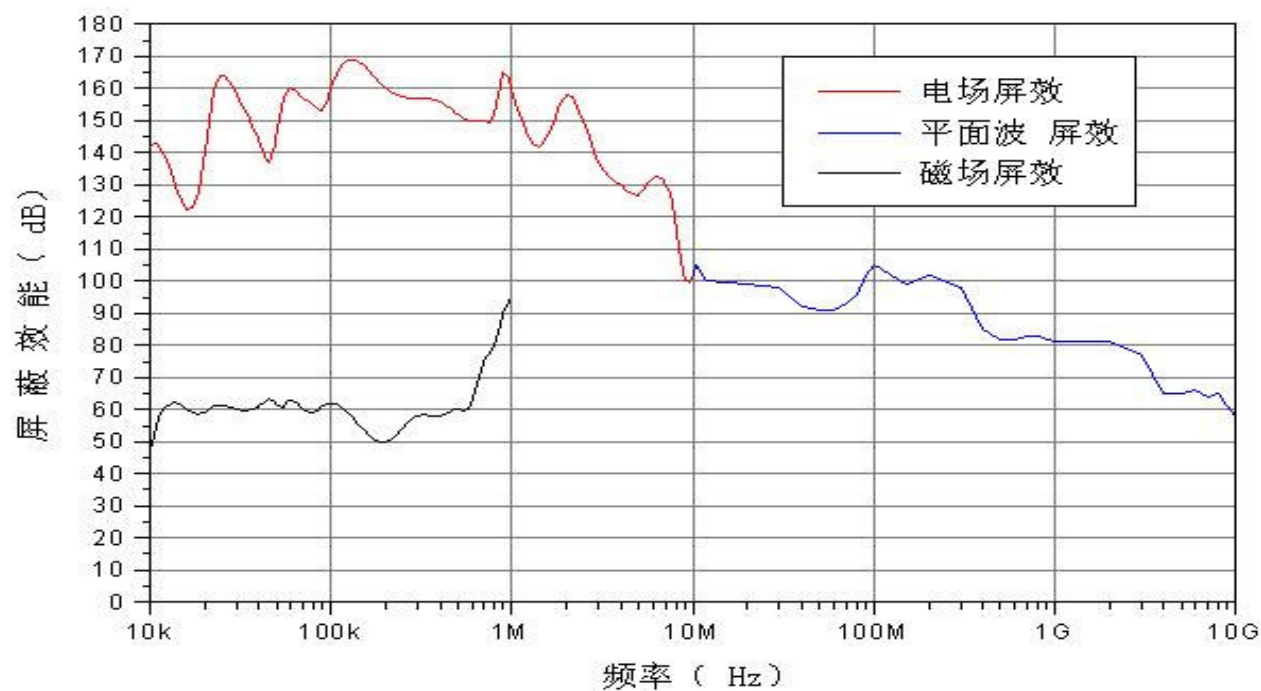


# 机柜的屏蔽技术指标

3G技术标准中跟基站屏蔽机柜有关的技术标准：

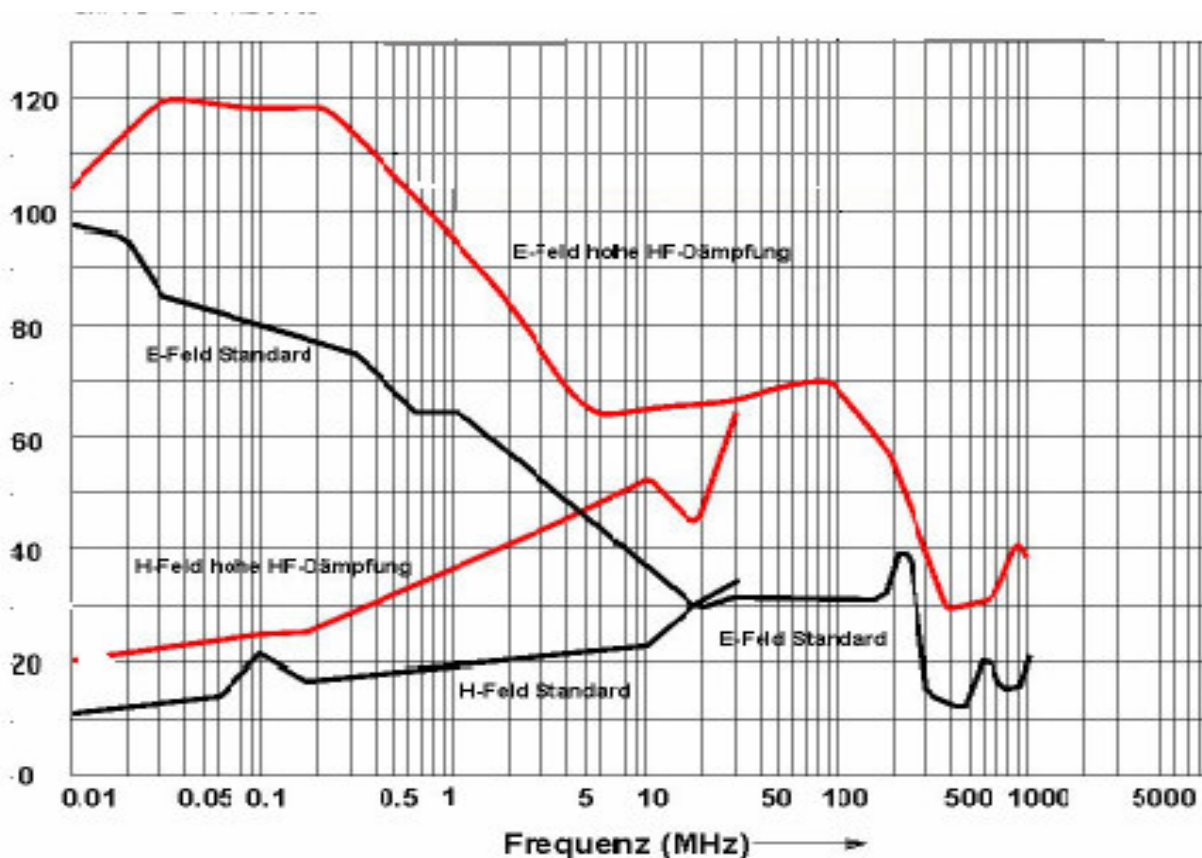
参考标准 分类	测试内容	应用对象	设备测试适用性			参考标准
			基站设备	附属设备	中继器	
辐射发射要求	辐射发射	机柜	适用		适用	ITU-R SM.329-8[1]
	辐射发射	机柜		适用		CISPR 22[4]
辐射敏感度要求	射频电磁场 (80-1000MHz)	机柜	适用	适用	适用	IEC61000-4-3[9]
	静电放电	机柜	适用	适用	适用	IEC61000-4-2[8]

## 国外公司的机柜设计屏效



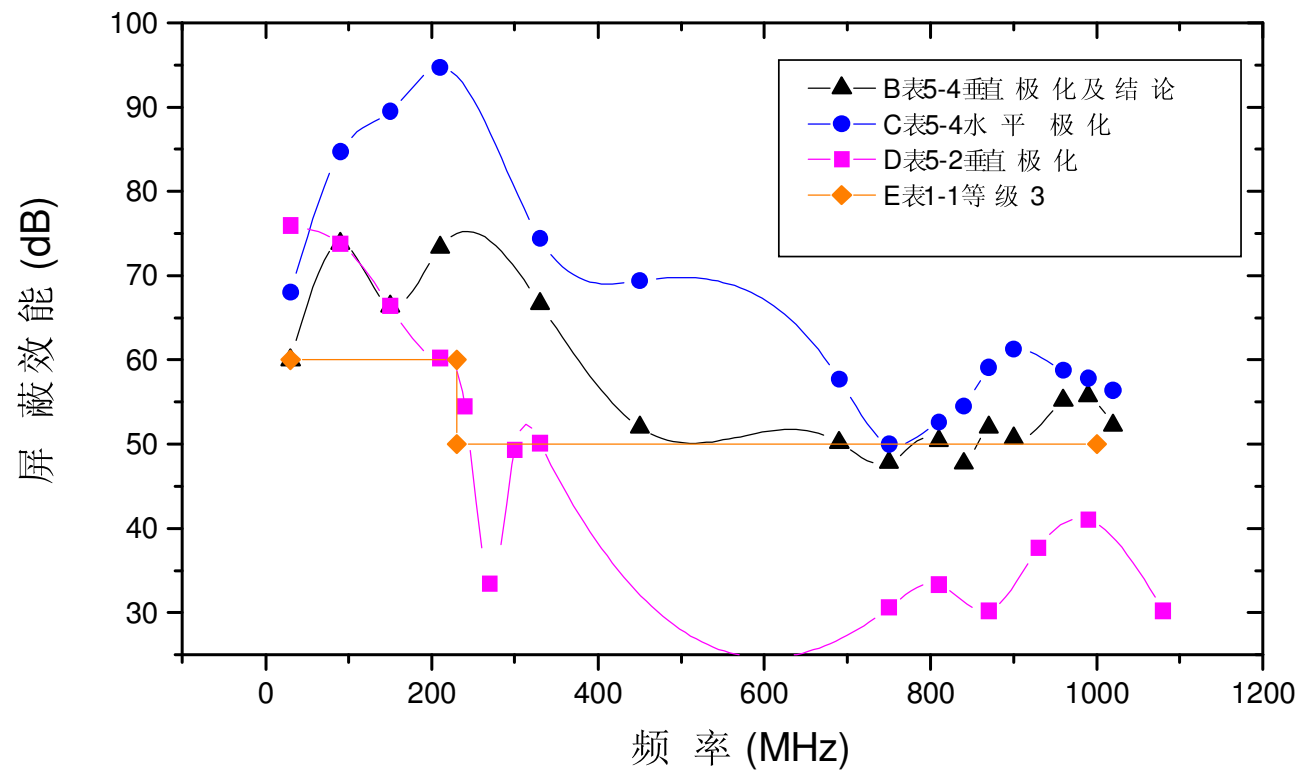
## EMCOR公司的TEMPEST级机柜屏效

## 国外公司的机柜设计屏蔽



Rittal公司EMC多用途机柜屏蔽

# 国内公司的机柜设计屏蔽



高性能屏蔽机柜的屏蔽

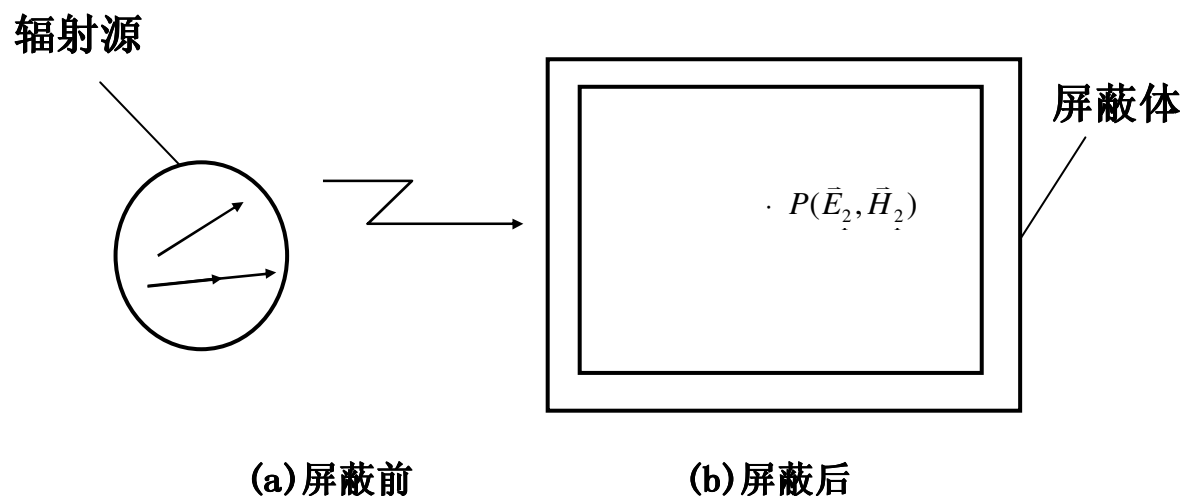
# 典型电子设备的屏蔽效能

通过大量的实例测试，也可证明上述分析是正确的。因此可以对满足不同标准的设备所需的屏蔽效能，给出下列规律：

- 民用设备：35 ~ 65 dB
- 军用设备：60 ~ 100 dB

明确了所需的屏蔽效能，就可以确定具体的屏蔽结构以及选取所需的屏蔽材料。

# 屏蔽效能的定义



屏蔽效能为空间某一点屏蔽前后场强之比

$$SE = 20 \log_{10} \frac{|\vec{E}_1|}{|\vec{E}_2|} \quad SE = 20 \log_{10} \frac{|\vec{H}_1|}{|\vec{H}_2|}$$

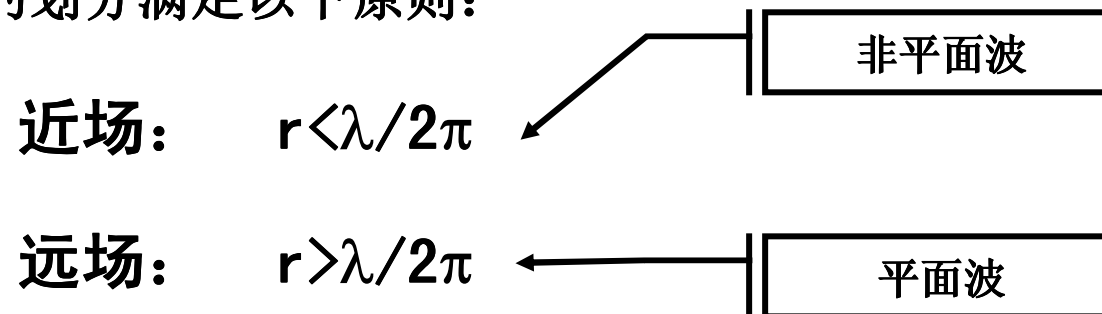
# 电磁屏蔽分类—两类基本辐射源

屏蔽是通过由金属制成的壳、盒、板等屏蔽体，将电磁波局限于某一区域内的一种方法。

工程中，实际的辐射干扰源大致分为两类：非闭合载流导线辐射源和闭合载流导线辐射源。由于电偶极子和磁偶极子是上述两类源的最基本形式，实际的辐射源在空间某点产生的场，均可由若干个基本源的场叠加而成。

## 电磁屏蔽分类—远近场的划分

远近场的划分是根据两类基本源的场随 $1/r$ （场点至源点的距离）的变化而确定的，两类源在远近场的场特征及传播特性均有所不同。故远近场的划分满足以下原则：



场源类型	近场衰减特性	远场衰减特性
电偶极子（非闭合载流导）	随 $1/r^3$ 衰减	随 $1/r$ 衰减
磁偶极子（闭合载流导线）	随 $1/r^3$ 衰减	随 $1/r$ 衰减



# 电磁屏蔽分类—波阻抗

## ●电偶极子的近场波阻抗

模值  $|Z_{WE}| = 120\pi \left( \frac{\lambda}{2\pi r} \right)$

当  $r < \frac{\lambda}{2\pi}$  时,  $|Z_{WE}| > 377\Omega$  。所以电偶极子在近场的波阻抗为高阻抗。

## ●磁偶极子的近场波阻抗

模值  $|Z_{WH}| = 120\pi \left( \frac{2\pi r}{\lambda} \right)$

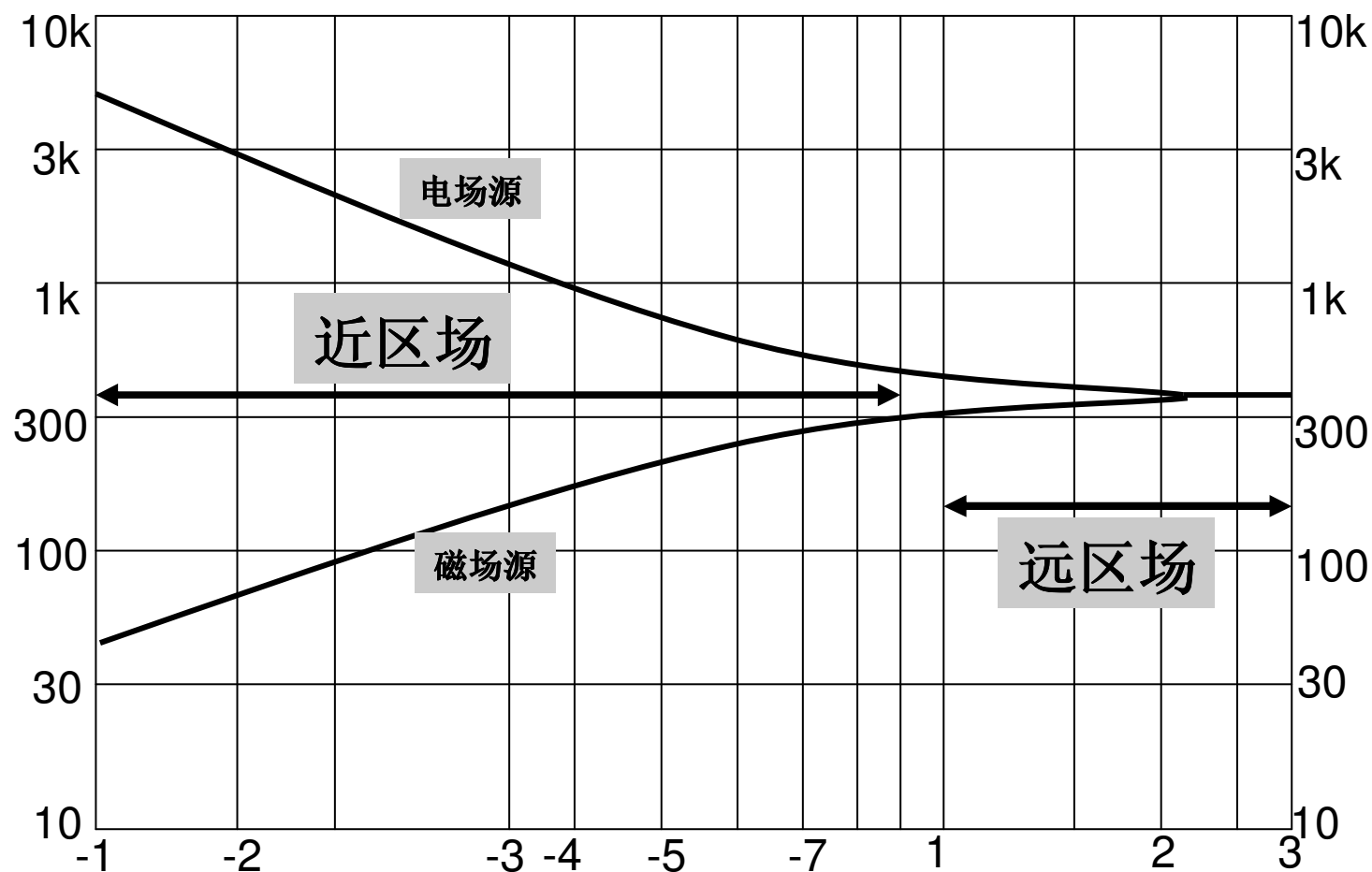
当  $r < \frac{\lambda}{2\pi}$  时,  $|Z_{WH}| < 377\Omega$  。所以磁偶极子在近场的波阻抗为低阻抗。

## ●电偶极子和磁偶极子的远场波阻抗

模值  $Z_{WH} = Z_{WE} = 120\pi = 377\Omega$

下图给出了两种源的波阻抗模值与场源距离及场源特性的关系。

# 电磁屏蔽分类—波阻抗



空气波阻抗的模值与场点至源点的距离、场源特性的关系

# 电磁屏蔽分类—两种基本辐射场的能量密度

西安电子科技大学  
邱扬

场源总能量密度:  $W = W_E + W_H$

电场分量能量密度:  $W_E = \frac{1}{2} \vec{E} \cdot \vec{D} = \frac{1}{2} \varepsilon |\vec{E}|^2$

磁场分量能量密度:  $W_H = \frac{1}{2} \vec{H} \cdot \vec{B} = \frac{1}{2} \mu |\vec{H}|^2$

场源类型	能量密度比较	
	近场 ( $r < \lambda/2\pi$ )	远场 ( $r > \lambda/2\pi$ )
电偶极子	$W_E \gg W_H$	$W_E = W_H$
磁偶极子	$W_E \ll W_H$	$W_E = W_H$

通过上面的波阻抗和能量分析, 可以看出两类源在近场的差别较大, 因此又可根据其波阻抗和能量的性质, 将上述两种源称为高阻抗电场源和低阻抗磁场源。

# 电磁屏蔽分类—屏蔽分类

场源类型	近场 ( $r < \lambda/2\pi$ )	远场 ( $r > \lambda/2\pi$ )
电偶极子 (非闭合载流导线)	电屏蔽 (包括静电屏蔽)	电磁屏蔽
磁偶极子 (闭合载流导线)	磁屏蔽 (包括恒定磁场屏蔽)	电磁屏蔽

以下分别针对不同的源来讨论其屏蔽机理。

# 屏蔽机理—电屏蔽

## (1) 静电屏蔽

根据电磁场理论，置于静电场中的导体在静电平衡的条件下，内部没有定向运动的电荷流，因此导体中的电场强度必然为零(外加静电场与在导体上的感应电场的矢量和为零)。另有导体的场方程：

$$\left\{ \begin{array}{l} \nabla \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \vec{n} \times \vec{E}_s = 0 \\ \vec{n} \cdot \vec{E}_s = 0 \end{array} \right.$$

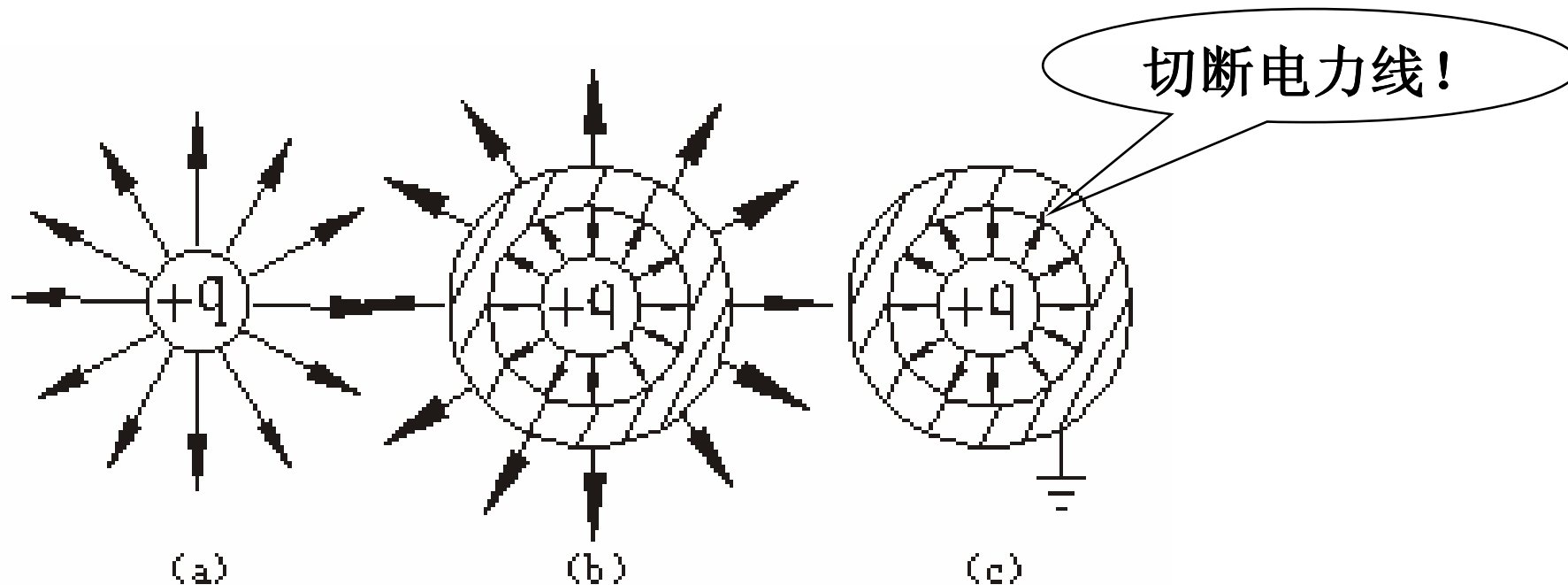
方程表明，导体表面一定存在电荷，电力线起始于正电荷而终止于负电荷，电力线垂直于导体表面。静电屏蔽正是利用导体在静电场中的性质，来达到屏蔽目的。

# 屏蔽机理—电屏蔽

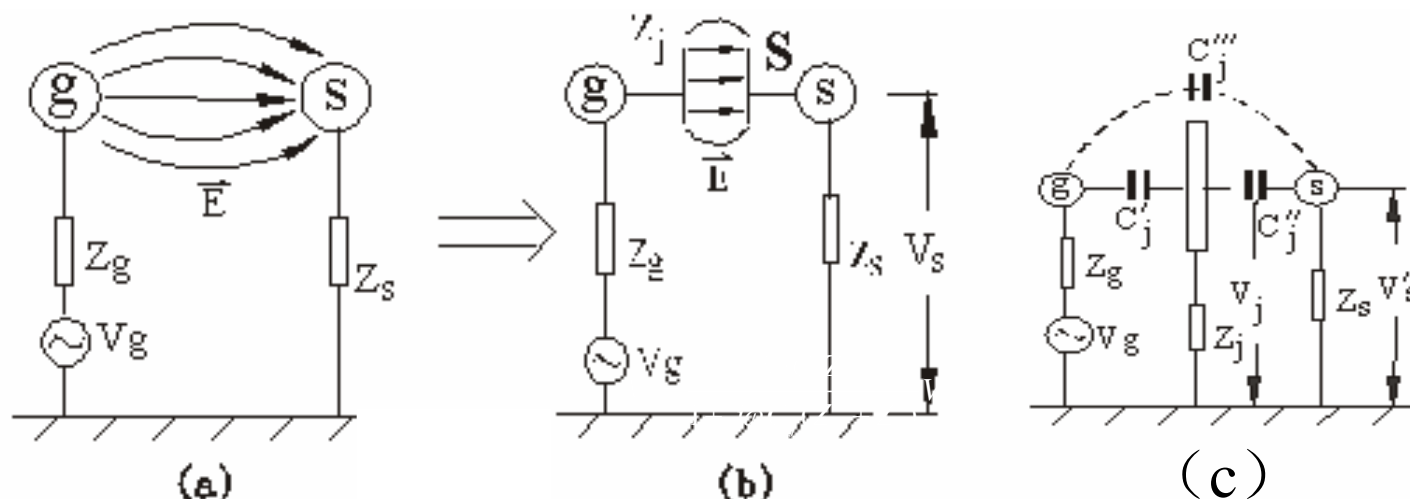
西安电子科技大学

邱扬

如下图所示，屏蔽体内侧感应出等量的负电荷，外侧感应出等量的正电荷。从图(b)可看出，仅用屏蔽体将静电场源包围起来，实际上起不到屏蔽的作用，只有将屏蔽体接地(图c)时，才能将静电场源所产生的电力线封闭在屏蔽体内部，屏蔽体才能真正起到屏蔽的作用。



## (2) 低频电场的屏蔽



设干扰源 $g$ 上有一交变电压 $V_g$ ，在其附近有一受感器 $s$ 通过阻抗 $Z_s$ 接地，干扰源 $g$ 对受感器 $s$ 的电场感应作用等效为分布电容 $C_j$ ，从而形成了由 $V_g$ 、 $C_j$ 、 $Z_g$ 和 $Z_s$ 构成的回路(上图)，在受感器上产生的干扰 $V_s$ 为：

$$V_s = \frac{j\omega C_j Z_s}{1 + j\omega C_j (Z_g + Z_s)} V_g \quad (1)$$

# 屏蔽机理—电屏蔽

为了减少g对s的干扰，在两者之间如上图C中加入屏蔽体，使得原来的 $C_j$ 变为 $C_j'$ 。由于 $C_j'$ 较小，故可以忽略，受感器上被感应的电压：

$$V_s' = \frac{j\omega C_j' Z_j}{1 + j\omega C_j' (Z_g + Z_j)} \cdot \frac{j\omega C_j'' Z_s}{1 + j\omega C_j'' (Z_j + Z_s)} V_g \quad (2)$$

从上面两式可以看出，要使 $V_s$ 比较小，则 $Z_j$ 应比较小，而 $Z_j$ 为屏蔽体的阻抗 $Z_m$ 和接地阻抗 $Z_c$ 之和。这一事实表明，屏蔽体必须选用导电性能好的材料，必须接地。若屏蔽体不接地或接地不良，则 $C$ 与两极板间距成反比，与极板面积成正比)，这将导致加屏蔽体后，干扰变得更大。因而对于这点应特别引起注意。

从以上分析可以看出，电屏蔽的实质是在保证良好接地的条件下，将干扰源发生的电力线终止于由良导体制成的屏蔽体，从而切断了干扰源与受感器之间的电力线交链。



# 屏蔽机理—磁屏蔽

磁屏蔽包括两部分内容：恒定磁场的屏蔽和对低阻抗磁场源的近区场即低频时变磁场的屏蔽。由Maxwell方程，磁场的散度和旋度表达式：

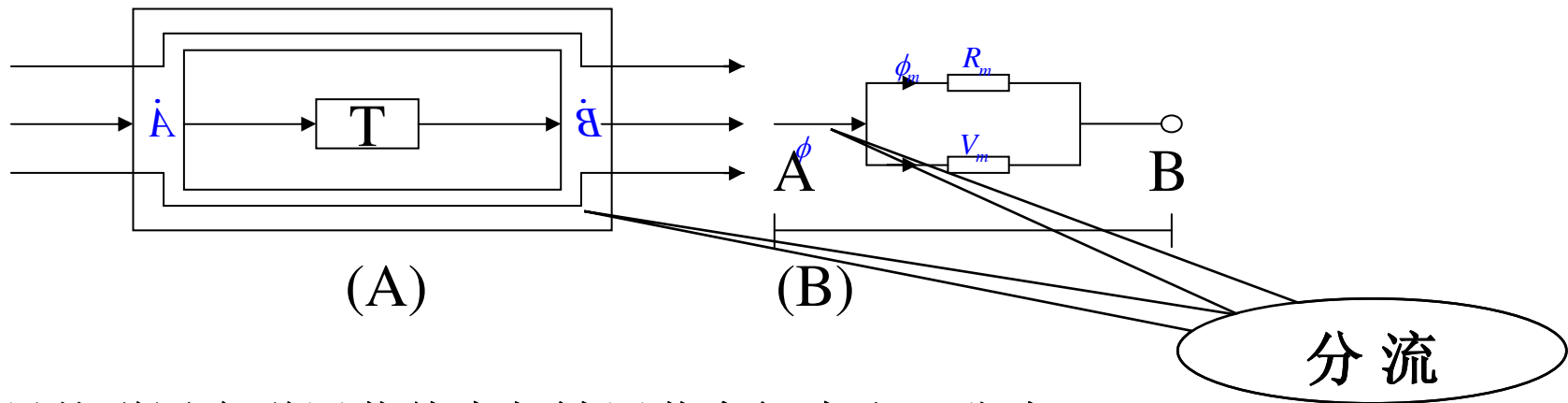
$$\begin{cases} \nabla \cdot \vec{B} = 0 \\ \nabla \times \vec{B} = \vec{J} + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \end{cases}$$

磁场的散度恒为零，旋度不为零，表明了自然界不存在磁荷，所以磁力线一定是闭合的。这个性质说明磁屏蔽无法象电屏蔽那样，将磁力线终止于屏蔽体，而只能利用屏蔽体对磁力线(磁场)进行分流，来切断干扰源与受感器之间的磁力线交链。

# 屏蔽机理—磁屏蔽

西安电子科技大学  
邱扬

下图为磁屏蔽示意图及等效磁路图。



显然磁通在磁屏蔽体中与被屏蔽空间中出现分流。

$$\phi = \frac{V_{mAB}}{R_m} + \frac{V_{mAB}}{R_0} = \phi_m + \phi_0$$

$R_m$ 为磁屏蔽体的磁阻， $R_0$ 为空气的磁阻

式中

$$R_m = \frac{\lambda}{\mu S} (1/H)$$

$\mu$  —材料的磁导率(H/m)  $S$ —磁路的横截面积(m<sup>2</sup>)  $\lambda$ —磁路的长度(m)

## 屏蔽机理—磁屏蔽

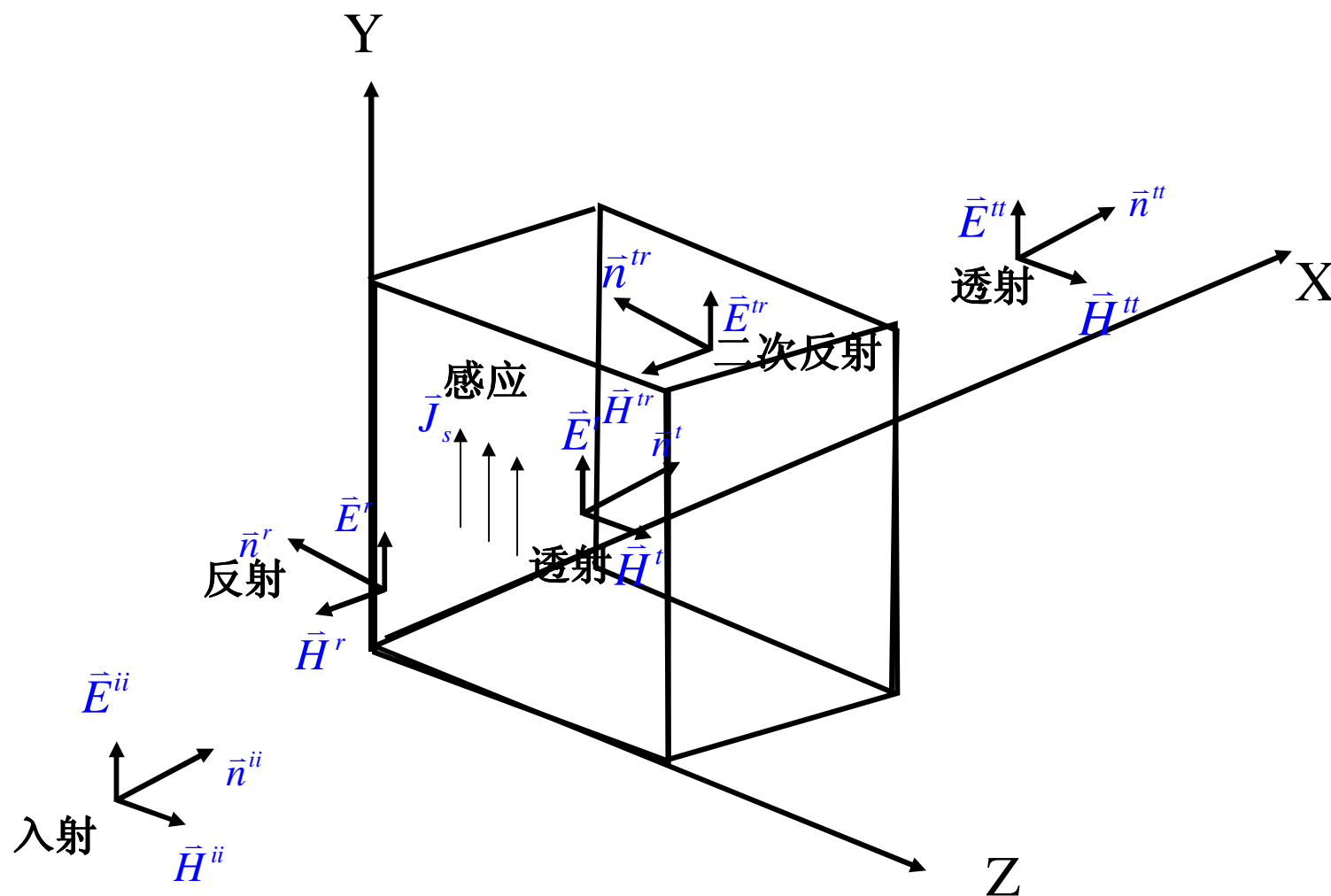
显然在 $V_{mAB}$ 一定的情况下， $R_m$ 越小， $\Phi_m$ 越大，所以大部分磁通量流过磁屏蔽体，达到了减弱干扰场强的目的。由于 $R_m$ 与 $\mu$ 成反比，因而：

磁屏蔽体选用钢、铁、坡莫合金等高导磁率的铁磁性材料。上述结论无论对于恒定磁场还是低频交变磁场都是适用的。因为低频时，涡流感应电流所产生的屏蔽作用已很小。

# 屏蔽机理—电磁屏蔽

西安电子科技大学

邱扬



屏蔽体在电磁场中情况

# 屏蔽机理—电磁屏蔽

西安电子科技大学

邱扬

电磁屏蔽是屏蔽辐射干扰源的远区场，即同时屏蔽电场和磁场的一种措施。当电磁波  $\vec{E}^i$ 、 $\vec{H}^i$  向屏蔽体入射时，首先在其左表面感应出电流  $\vec{J}_s$

和电荷，形成了新的辐射源，新辐射源产生向左表面两侧传播的电磁波。反射波为  $\vec{E}^r$ 、 $\vec{H}^r$ ，透射波为  $\vec{E}^t$ 、 $\vec{H}^t$ ，透射波由于屏蔽体热损耗的影响以指数规律衰减，在到达右表面时产生反射（ $\vec{E}^{tr}$ 、 $\vec{H}^{tr}$ ）和（ $\vec{E}^{tt}$ 、 $\vec{H}^{tt}$ ），从而将传到屏蔽体另一侧空间的电磁能量大大减弱，起到了屏蔽的作用。

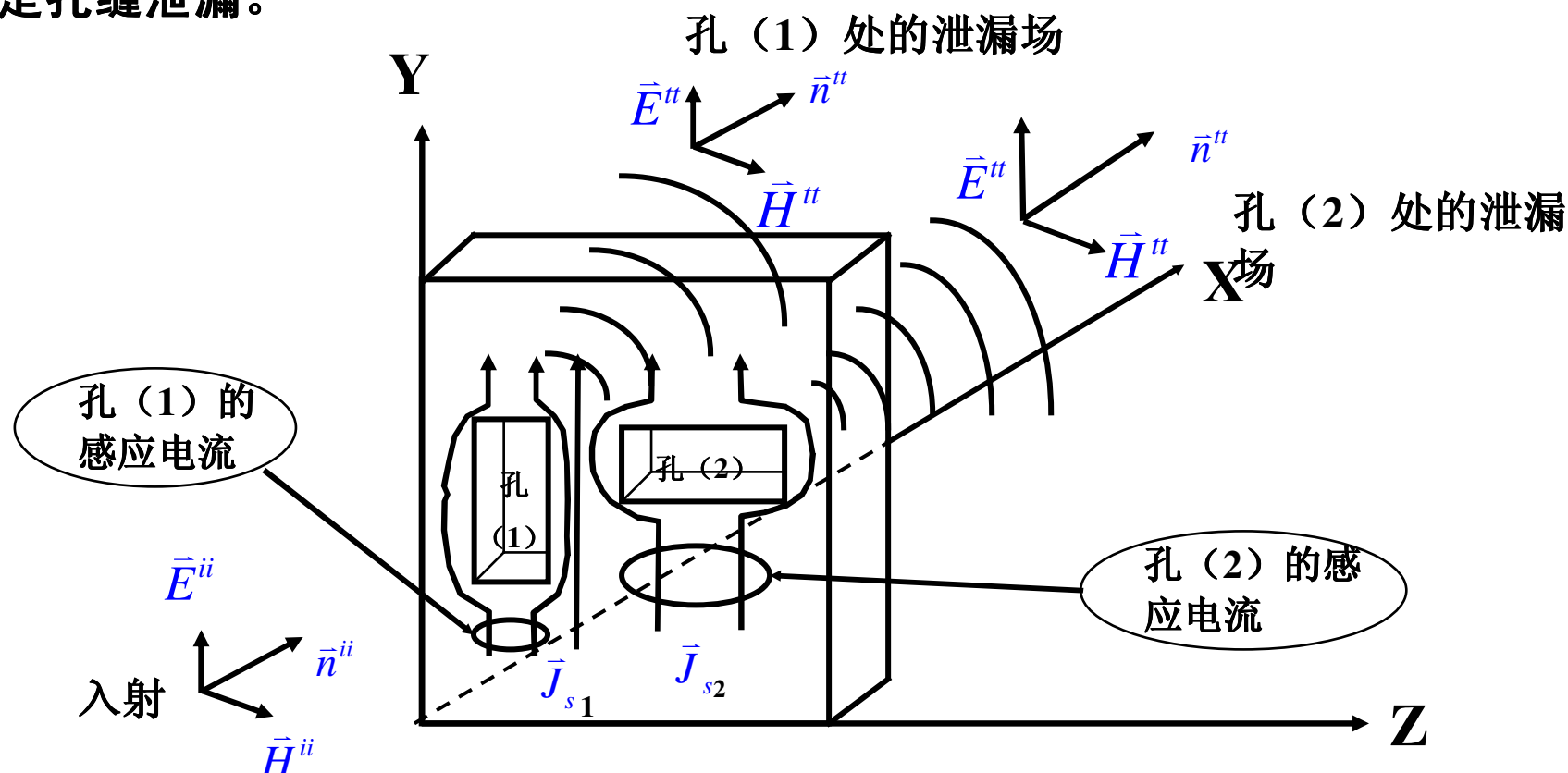
显然，感应电流和电荷越大，所产生的反射场就越强，热损耗（吸收损耗）越大，透射波的衰减越多。因此电磁屏蔽应选用导电材料。

# 屏蔽机理—孔缝泄漏

西安电子科技大学

邱扬

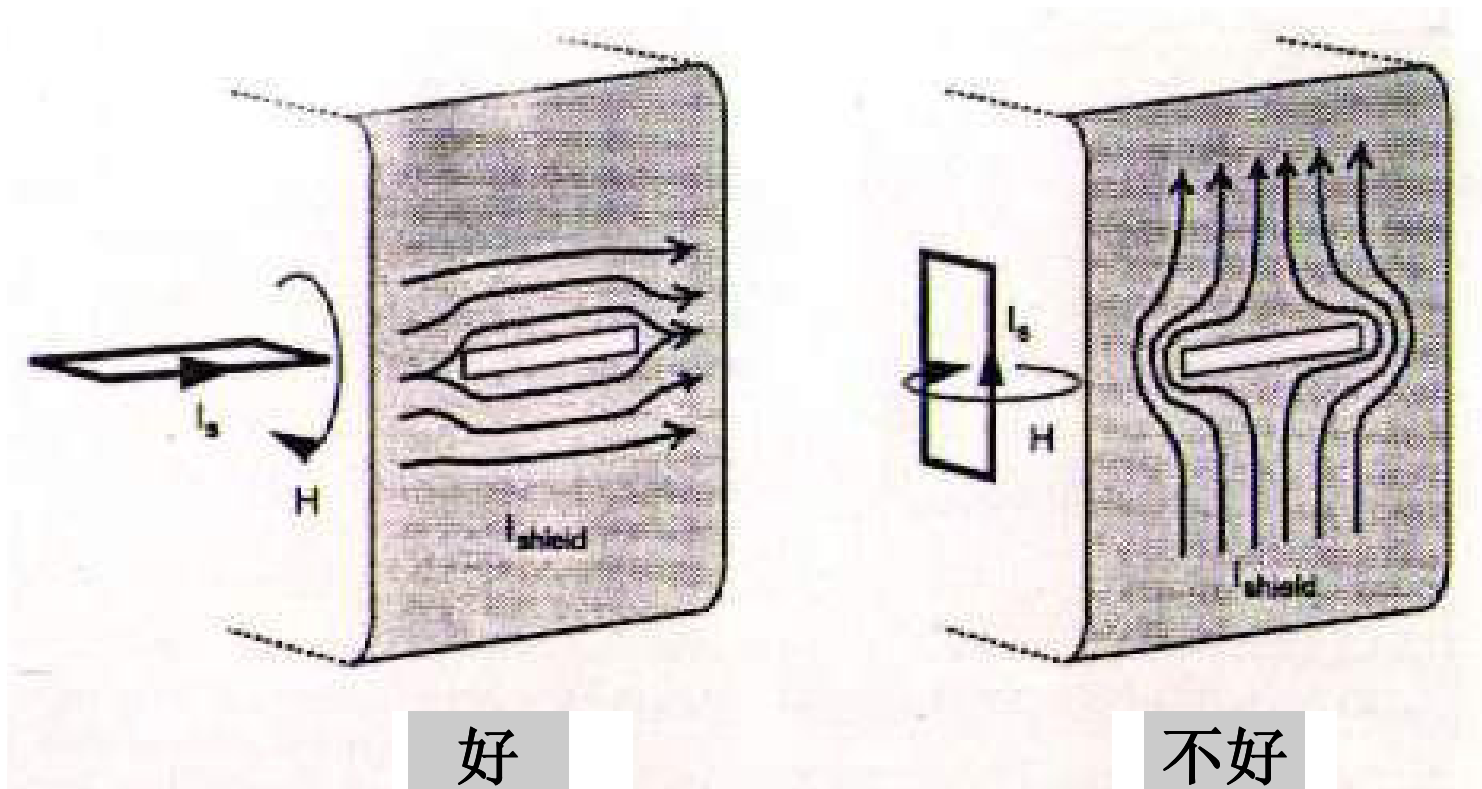
由于金属屏蔽体在高频时的趋肤效应，导致只要满足刚强度的屏蔽体厚度均有足够高的屏蔽。此时决定屏蔽体的屏蔽不是金属材料的种类及厚度，而是孔缝泄漏。



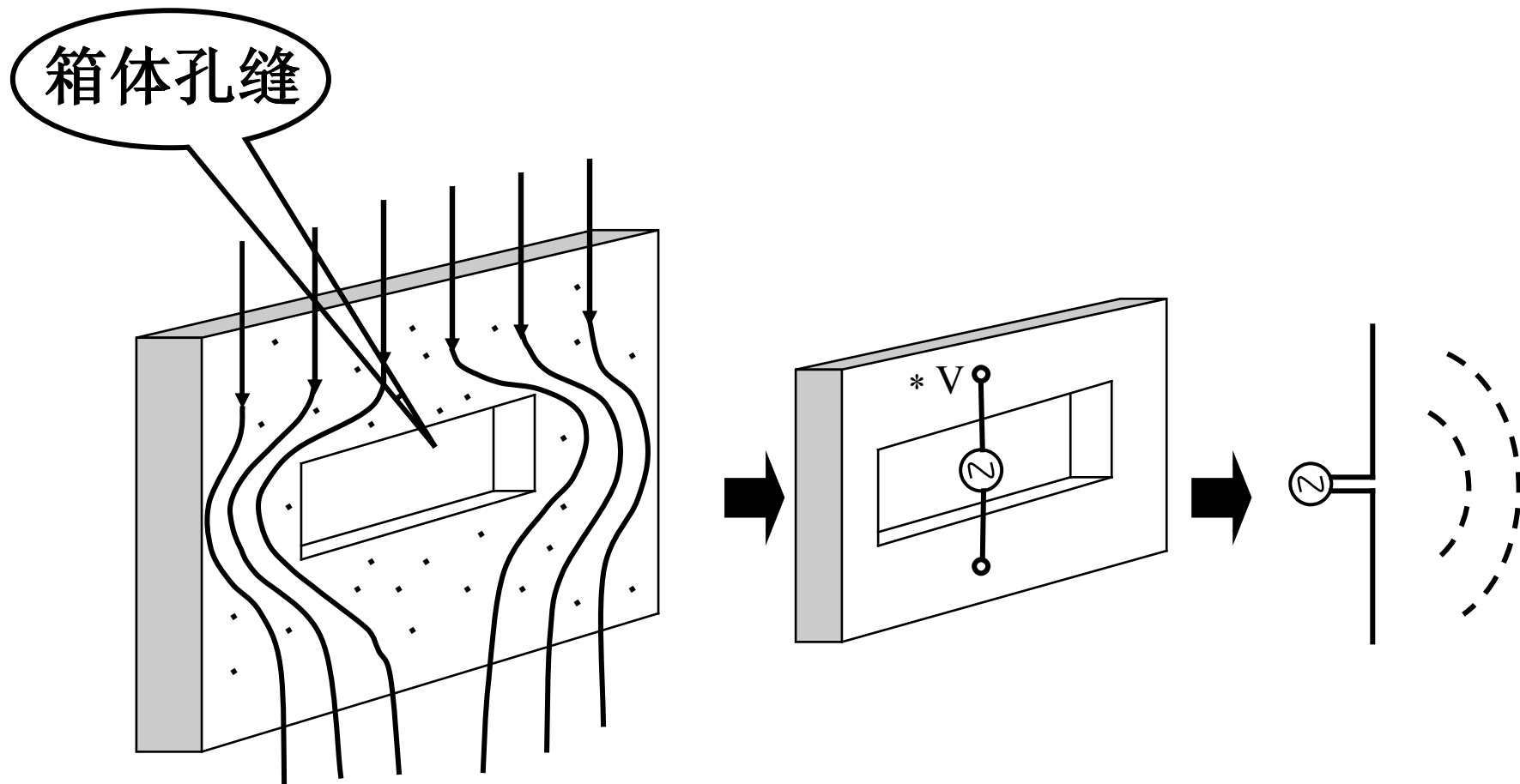
当屏蔽体表面电流被孔缝所切断，则表面电流在孔缝处就转换为辐射场，从而导致电磁辐射泄漏（耦合）。

# 屏蔽机理—开孔方向的影响

西安电子科技大学  
邱扬



# 开孔方向的干扰和辐射

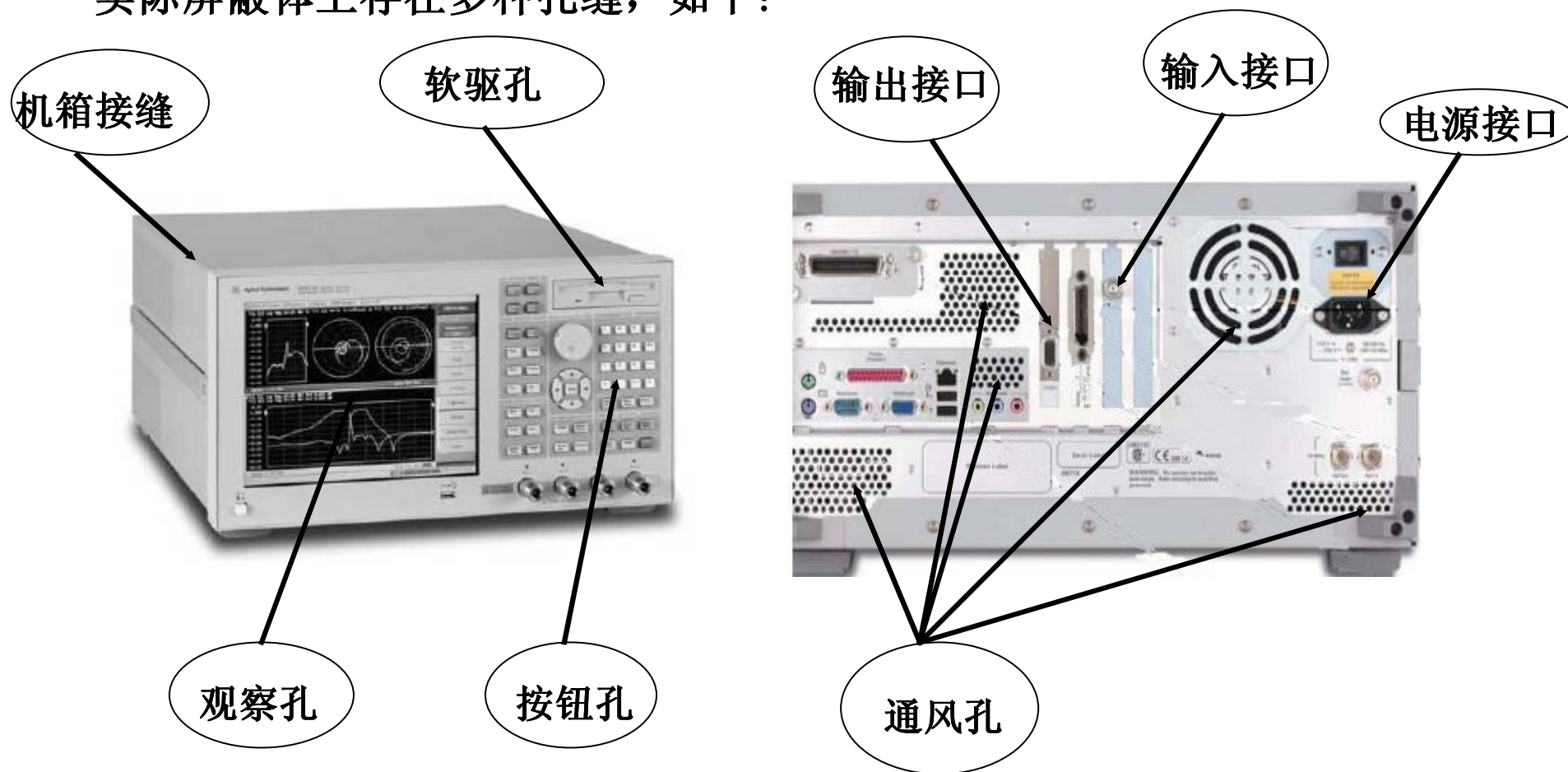


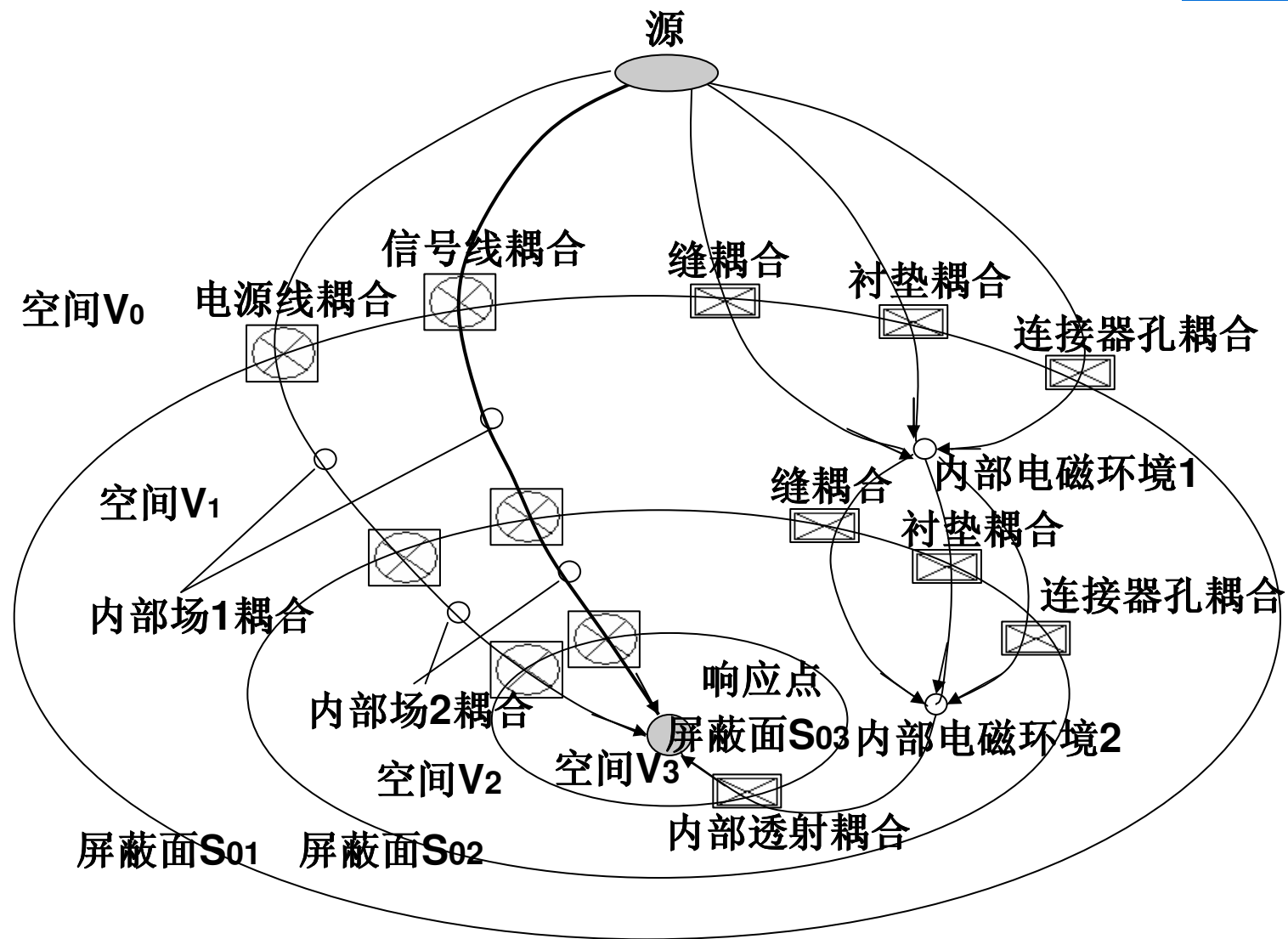


# 屏蔽机理—典型泄漏结构及控制要素

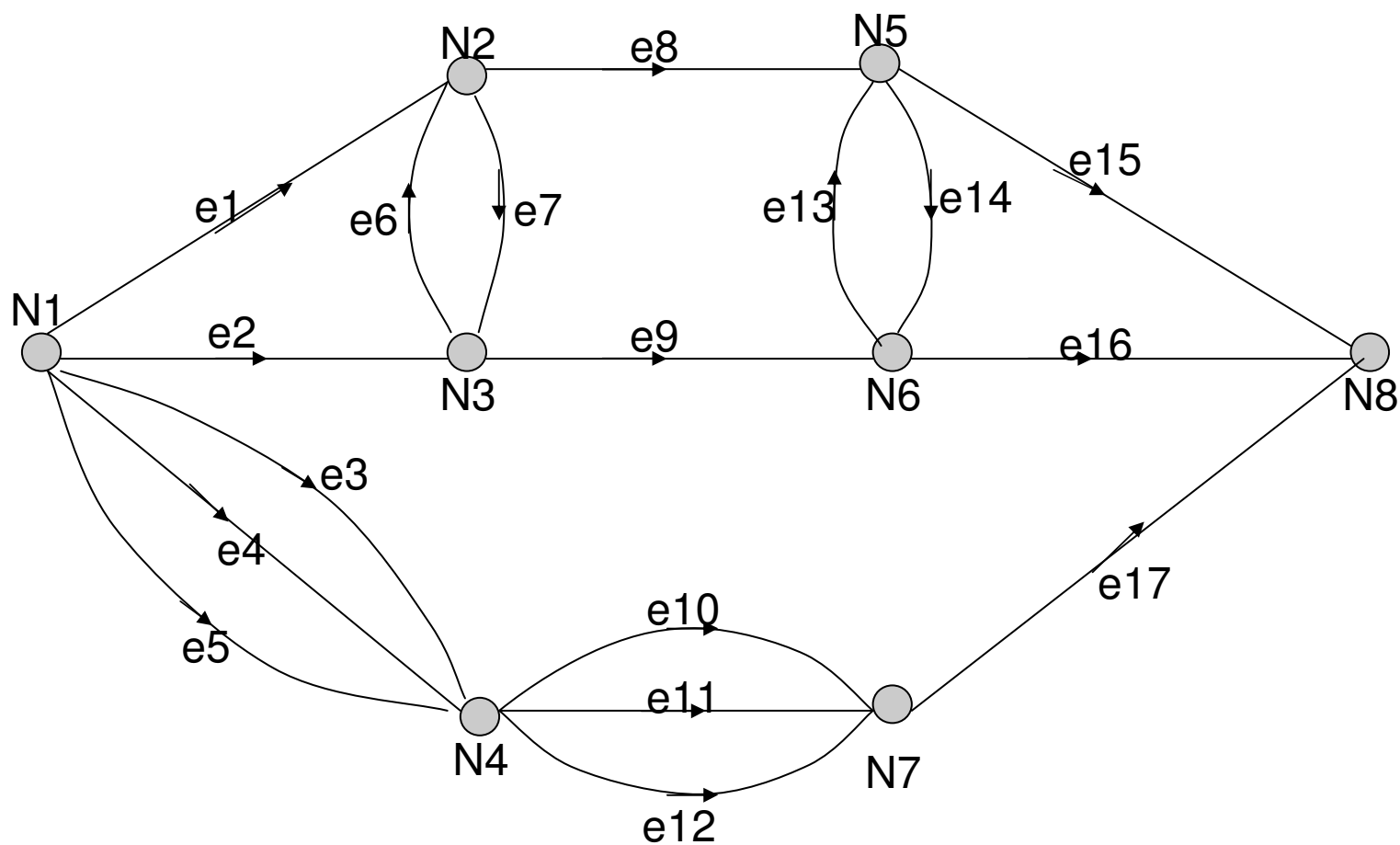
由于随着频率的增高，当波长变得与屏蔽体上孔缝的尺寸相当时，则屏蔽体的孔缝泄漏成为电磁屏蔽最关键的要素。

实际屏蔽体上存在多种孔缝，如下：





机箱拓扑结构模型

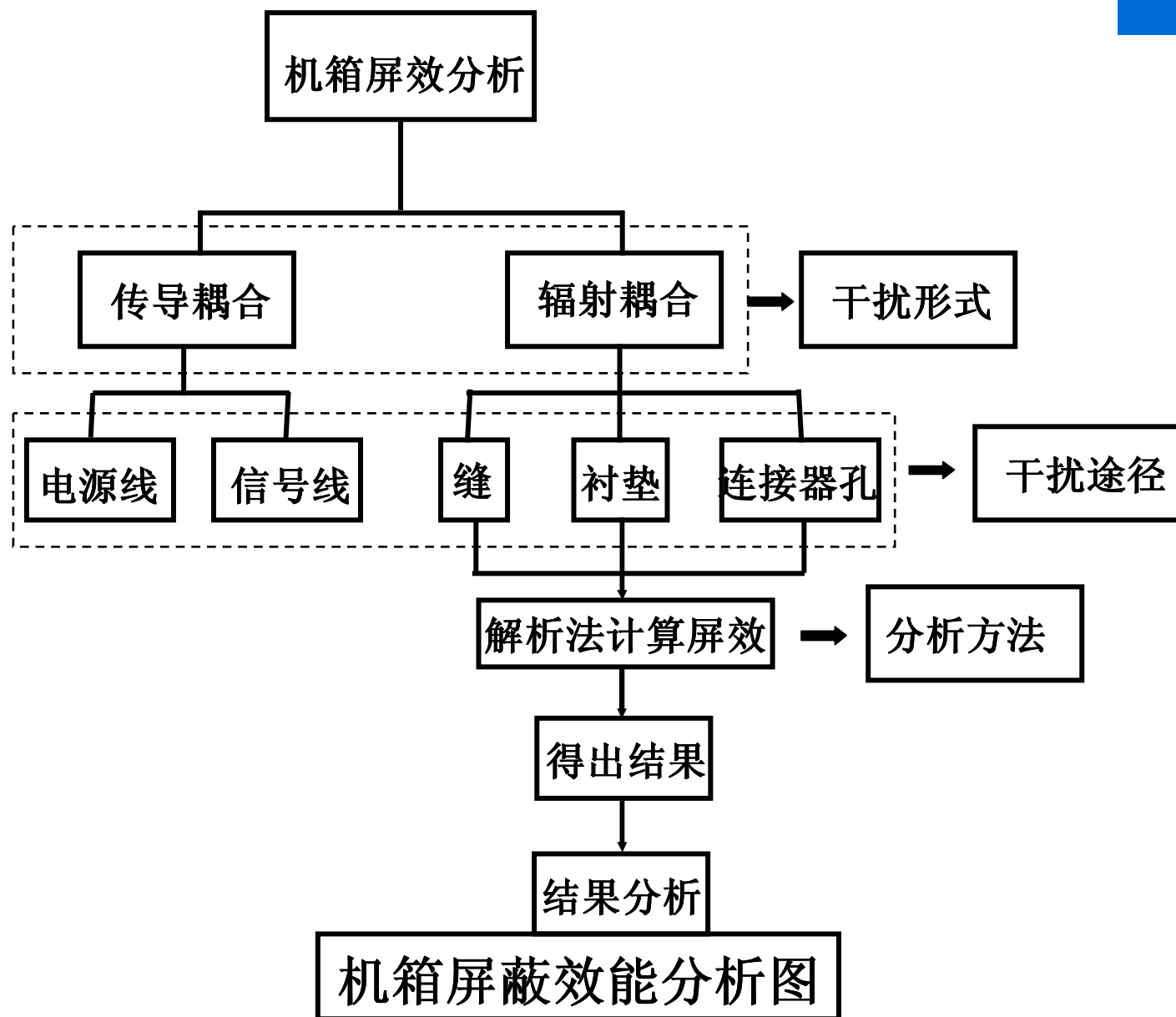


机箱辐射干扰电磁拓扑图

设各泄漏耦合结构的单独屏蔽效能（如只考虑接缝）为  $SE_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ )，则屏蔽体总的屏蔽效能

$$SE = -20 \log_{10} \left( \sum_{i=1}^n 10^{-\frac{SE_i}{20}} \right)$$

由上式可以看出，屏蔽体的屏蔽效能是由各个泄漏耦合结构中产生最大泄漏耦合的结构所决定的，即由屏蔽最薄弱的环节所决定的。因此进行屏蔽设计时，明确不同频段的泄漏耦合结构，确定最大泄漏耦合要素是其首要的设计原则。



# 屏蔽机理—典型泄漏结构及控制要素

西安电子科技大学

邱扬

屏蔽类型	磁屏蔽	电屏蔽	电磁屏蔽
频率范围	10kHz~500kHz	1MHz~500MHz	500MHz~40GHz
泄漏耦合结构	屏蔽体壳体	屏蔽体壳体及接地	孔缝及接地
控制要素	合理选择壳体材料	合理选择壳体材料 良好接地	抑制孔缝泄漏 良好接地

在三类屏蔽中，磁屏蔽和电磁屏蔽的难度较大。尤其是电磁屏蔽设计中的孔缝泄漏抑制最为关键，成为屏蔽设计中应重点考虑的首要因素。

# 屏蔽的分类

**电屏蔽**的实质是减小两个设备（或两个电路、组件、元件）间电场感应的影响。电屏蔽的原理是在保证良好接地的条件下，将干扰源所产生的干扰终止于由良导体制成的屏蔽体。因此，接地良好及选择良导体做为屏蔽体是电屏蔽能否起作用的两个关键因素。

**磁屏蔽**的原理是由屏蔽体对干扰磁场提供低磁阻的磁通路，从而对干扰磁场进行分流，因而选择钢、铁、坡莫合金等高磁导率的材料和设计盒、壳等封闭壳体成为磁屏蔽的两个关键因素。

**电磁屏蔽**的原理是由金属屏蔽体通过电磁波的反射和吸收来屏蔽辐射干扰源的远区场，即同时屏蔽场源所产生的电场和磁场分量。由于随着频率的增高，波长变得与屏蔽体上孔缝的尺寸相当，从而导致屏蔽体的孔缝泄漏成为电磁屏蔽最关键的控制要素。

# 电磁屏蔽设计理论方法

西安电子科技大学  
邱扬

目前屏蔽设计的计算方法主要有以下几种：

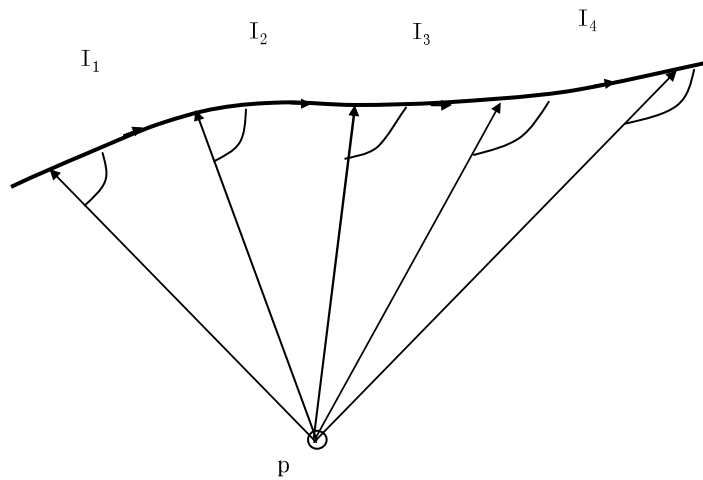
- 基于传输线理论的屏蔽效能计算方法
- 基于散射理论的屏蔽效能计算方法
- 基于并矢格林函数的孔耦合计算方法
- 屏蔽效能计算的时域有限差分法

在上述方法中，前两种方法的计算非常简单，尤其是第一种方法。由于概念清晰、计算简洁而在各种资料及专业书中出现，是目前应用最为广泛的一种计算方法。



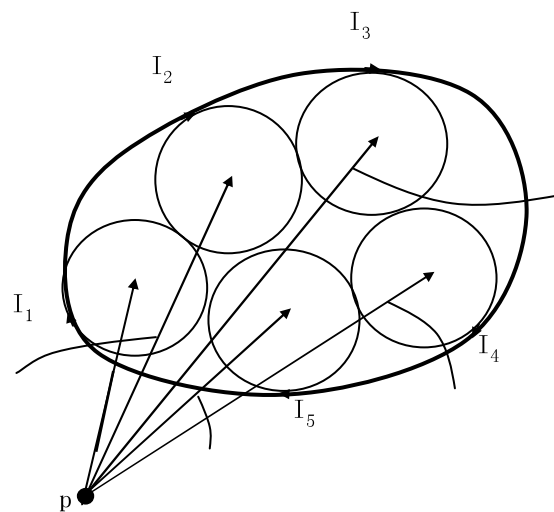
# 两类基本辐射源-电偶极子

西安电子科技大学  
邱扬



电偶极子在空间所产生的叠加场

# 两类基本辐射源-磁偶极子

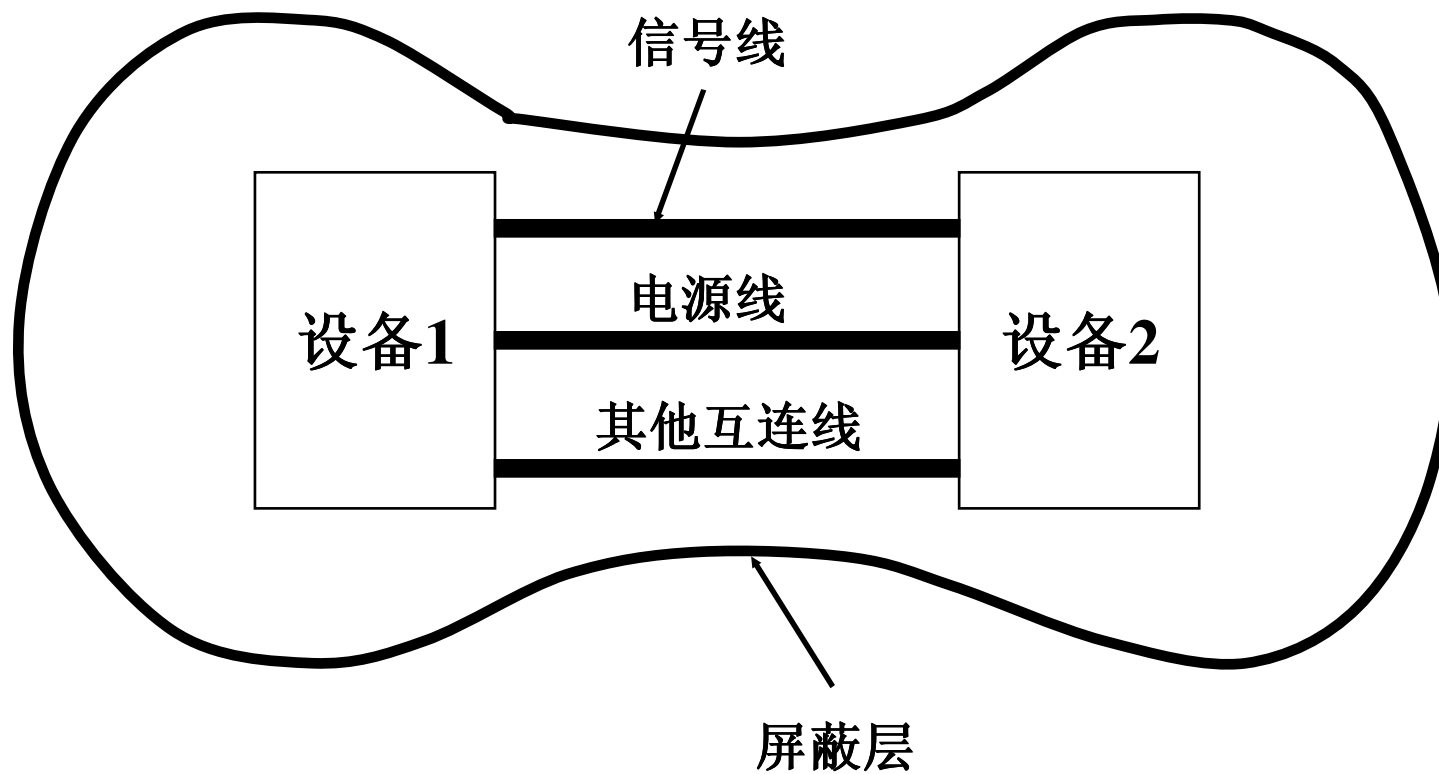


磁偶极子在空间所产生的叠加场

# 哑铃模型的描述

西安电子科技大学

邱扬



# 典型设备的泄漏要素

根据孔耦合理论，决定孔缝泄漏量的因素主要有两个：孔缝面积和孔缝最大线度尺寸。两者皆大，则泄漏最为严重；面积小而最大线度尺寸大则电磁泄漏仍然较大。

- 机箱（机柜）接缝
  - 导电衬垫
- 通风孔
  - 屏蔽通风窗
- 观察孔与显示孔
  - 屏蔽透光材料
- 连接器与机箱接缝
  - 连接器衬垫

# 手机辐射量级

- C D M A 手机辐射量级在 $15\sim 50\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 之间
- G S M 大都在  $800\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$  以上，辐射最高的达  $1000\ \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 内藏天线小于外置天线，但内置天线手机的背部电磁辐射比前板多出好几倍

- 手机释放出的电磁波在电话拨号至接通时最强，可以达到  $1000 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 在通常通话时，电磁波的强度可达  $300 \mu\text{W}/\text{cm}^2$
- 测试结果表明，手机电磁辐射的一半被人体吸收，其中四分之一被人脑吸收。
- 根据辐射强度在手机接通期间对人体危害最大这一关键点，可以利用软件技术研发开发手机的接通提示功能。
- 用户在拨号呼叫过程中，不必放在身边监听，对方接通之后会自动发出提示音或振动以提示呼叫方已经接通。

# 手机中的EMI问题

西安电子科技大学

邱扬

- 目前的手机都是数字式的，尽管称作数字蜂窝电话，但还是离不开许多的模拟功能。
- 手机电路面临着对于混合信号设计的问题
- 便携式通信设备继续缩小尺寸、减轻重量而不断增加功能，提高芯片的集成度。设计电路板时，避免干扰、噪声所引起的误差和地回波是很艰巨的任务。
- 随着芯片几何尺寸的进一步缩小以及板上线距的缩短，其物理定律开始失去意义。
- 在PCB板中，紧靠在一起的并行线存在更大的寄生电容耦合，且邻近线之间互相产生耦合干扰。
- 在电源管理中，DC-DC变换器本身就是潜在的EMI噪声源

# 手机结构方面的电磁兼容措施

- 利用导电涂料对手机塑料壳体进行喷涂屏蔽
- 利用多层印制板的大面积地进行空间隔离和屏蔽
- 利用局部屏蔽盒与地层的连接对高速发展的芯片进行连接
- 利用大面积导电涂层增大手机地容量，提高抗静电放电干扰的能力
- 利用导电衬垫与大面积导电涂层的接地，改善局部电路或器件的抗静电干扰的能力
- 利用窄带型吸收材料破坏手机局部屏蔽空间的电磁谐振



# 手机结构方面的电磁兼容措施

手机的  
EMC设计和  
其它的电子  
设备一样，  
主要采用了  
接地  
屏蔽  
滤波  
三种方法。

