

## 第 6 章

XXXXXXXXXXXX

# 检测系统抗干扰技术

测量过程中常会遇到各种各样的干扰，不仅能造成逻辑关系的混乱，使系统测量和控制失灵，以致降低产品的质量，甚至造成令系统无法正常工作的损坏和事故。尤其是电子装置的小型化、集成化、数字化和智能化的广泛应用和迅速发展，有效地排除和抑制各种干扰，已是必须考虑并解决的问题。而提高检测系统抗干扰能力，首先应分析干扰产生的原因、干扰的引入方式及途径，才可有针对性地解决系统抗干扰问题。

## 6.1 干扰的分类

干扰来自干扰源，在工业现场和环境中干扰源是各种各样的。按干扰的来源，可以将干扰分为内部干扰和外部干扰。

### 6.1.1 外部干扰

电气设备、电子设备、通信设施等的高密度使用，使得空间电磁波污染越来越严重。由于自然环境的日趋恶化，自然干扰也随之增大。外部干扰就是指那些与系统结构无关，由使用条件和外界环境因素所决定的干扰。它主要来自于自然界的干扰以及周围电气设备的干扰。

自然干扰主要有地球大气放电(如雷电)、宇宙干扰(如太阳产生的无线电辐射)、地球大气辐射以及水蒸气、雨雪、砂尘、烟尘作用的静电放电等，电气设备的干扰主要有高压输电线、内燃机、荧光灯、电焊机等设备产生的放电干扰。这些干扰源产生的辐射波频率范围较广、无规律如雷电干扰，从几 **kHz** 到几百 **MHz** 或更高的频域。自然干扰主要来自天空，以电磁感应的方式通过系统的壳体、导线、敏感器件等形成接收电路，造成对系统的干扰，尤其对通讯设备、导航设备有较大影响。

在检测装置中已广泛使用的半导体器件，在光线作用下将激发出电子－空

穴对, 并产生电动势, 从而影响检测装置的正常工作和精度。所以, 半导体元器件均应封装在不透光的壳体内。对于具有光敏作用的元器件, 尤其要注意光的屏蔽问题。

各种电气设备所产生的干扰有电磁场、电火花、电弧焊接、高频加热、可控硅整流等强电系统所造成的干扰, 这些干扰主要是通过供电电源对测量装置和微型计算机产生影响。在大功率供电系统中, 大电流输电线周围所产生的交变电磁场, 对安装在其附近的智能仪器仪表也会产生干扰。此外, 地磁场的影响及来自电源的高频干扰也可视为外部干扰。

### 6.1.2 内部干扰

内部干扰是指系统内部的各种元器件、信道、负载、电源等引起的各种干扰。下面简要介绍计算机检测系统中常见的信号通道干扰、电源电路干扰和数字电路干扰。

#### (1) 信号通道干扰

计算机检测系统的信号采集、数据处理与执行机构的控制等, 都离不开信号通道的构建与优化。在进行实际系统的信道设计时, 必须注意其间的干扰问题。信号通道形成的干扰主要有以下几种。

##### 1) 共模干扰

共模干扰对检测系统的放大电路的影响较大。它是指相对公共地电位为基准点, 在系统的两个输入端上同时出现的干扰, 即两个输入端和地之间存在地电压。

##### 2) 静电耦合干扰

静电耦合干扰的形成, 是由于电路之间的寄生电容使系统内某一电路的信号发生变化, 从而影响其他电路。只要电路中有尖峰信号和脉冲信号等高频谱的信号存在, 就可能存在静电耦合干扰。因此, 检测系统中的计算机部分和高频模拟电路部分都是产生静电耦合干扰的直接根源。

##### 3) 传导耦合干扰

计算机检测系统中的脉冲信号在传输的过程中, 容易出现延时、变形, 并可能接收干扰信号, 这些因素均会形成传导耦合干扰。

#### (2) 电源干扰

对于电子、电气设备来说, 电源干扰是较为普遍的问题。在计算机检测系统的实际应用中, 大多数是采用工业用电网络供电。工业系统中的某些大设备的启动、停机等, 都可能引起电源的过压、欠压、浪涌、下陷及尖峰等, 这些也是要加以重视的干扰因素。同时, 这些电压噪声均通过电源的内阻, 耦合到系统内部的电路, 从而对系统造成极大的危害。

### (3) 数字电路引起的干扰

从量值上看, 数字集成电路逻辑门引出的直流电流一般只有 mA 级。由于一般的较低频率的信号处理电路中对此问题考虑不多, 所以容易使人忽略数字电路引起的干扰因素。但是, 对于高速采样及信道切换等场合, 即当电路处在高速开关状态时, 就会形成较大的干扰。

例如, TTL 门电路在导通状态下, 从直流电源引出 5 mA 左右的电流, 截止状态下则为 1 mA, 在 5 ns 的时间内其电流变化为 4 mA, 如果在配电线上具有 0.5  $\mu$ H 的电感, 当这个门电路改变状态时, 配电线上产生的噪声电压为

$$U = L \frac{di}{dt} = 0.5 \times 10^{-6} \times \frac{4 \times 10^{-3}}{5 \times 10^{-9}} \text{ V} = 0.4 \text{ V} \quad (6.1)$$

如果把这个数值乘上典型系统的大量门电路的个数, 可以看到, 虽然这种门电路的供电电压仅 5 V, 但引起的干扰噪声将是非常显著的。

在实际的脉冲数字电路中, 对脉冲中包含的频谱应有一个粗略的概念。如果脉冲上升时间  $t$  为已知量, 则可用近似公式求出其等效的最高频率为

$$f_{\max} = \frac{1}{2\pi t} \quad (6.2)$$

由上式算出, 5 ns 的开关时间相当于最高频率 31.8 MHz。真正的脉冲频谱取决于脉冲的形状。对于非周期性脉冲, 其频率从直流到  $f_{\max}$  都会出现; 对于周期性脉冲, 则从对应的重复频率起, 到  $f_{\max}$  的所有频率都可能出现。

## 6.2 干扰的引入

干扰是一种破坏因素, 但它必须通过一定的传播途径才能影响到测量系统。所以有必要对干扰的引入或传播进行必要的分析, 切断或抑制耦合通道, 采取使接收电路对干扰不敏感或使用滤波等手段, 有效地消除干扰。

干扰的引入和传播主要有以下几种:

静电耦合: 又称静电感应, 即干扰经杂散电容耦合到电路中去。

电磁耦合: 又称电磁感应, 即干扰经互感耦合到电路中去。

共阻抗耦合: 即电流经两个以上电路之间的公共阻抗耦合到电路中去。

辐射电磁干扰和漏电流耦合: 即在电能频繁交换的地方和高频换能装置周围存在的强烈电磁辐射对系统产生的干扰, 以及由于绝缘不良耦合到电流中去的干扰。

对于检测系统, 干扰引入的电路方式有串模干扰和共模干扰。

### 6.2.1 串模干扰

串模干扰的等效电路如图 6.1 所示。其中,  $U_s$  为输入信号,  $U_n$  为干扰信

号。抗串模干扰能力用串模抑制比来表示

$$SMR = 20 \lg \frac{U_{cm}}{U_n} \quad (6.3)$$

式中,  $U_{cm}$  为串模干扰源的电压峰值;  $U_n$  为串模干扰引起的误差电压。

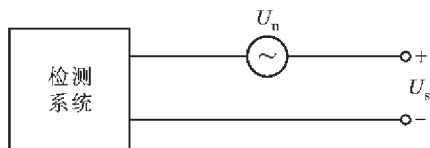


图 6.1 串模干扰等效电路

### 6.2.2 共模干扰

前面已经介绍信号通道间可能存在共模干扰, 其实此类干扰可以归纳为三类, 下面对其进一步分析。

(1) 由被测信号源的特点产生共模干扰

如图 6.2 所示, 具有双端输出的差分放大器和不平衡电桥等不具有对地产生的共模干扰。

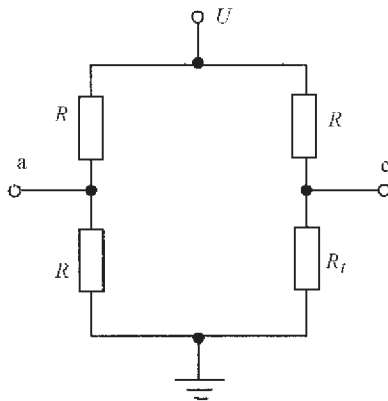


图 6.2 共模电压示意图

$$U_a = \frac{U}{2} \quad (6.4)$$

$$U_c = \frac{R_t}{R_t + R} U = U - \frac{R}{R_t + R} U = \frac{U}{2} + \frac{U}{2} - \frac{R}{R_t + R} U \quad (6.5)$$

$$\text{差模电压} = \frac{R}{R_t + R} U - \frac{U}{2} \quad (6.6)$$

$$\text{共模电压} = \frac{U}{2} \quad (6.7)$$

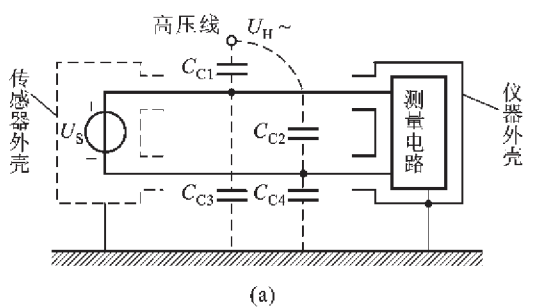
### (2) 电磁场干扰引起共模干扰

当高压设备产生的电场同时通过分布电容耦合到无屏蔽的双输入线，而使之具有对地电位时，或者交流大电流设备的磁场通过双输入线的互感在双输入线中感应出相同大小的电动势时，都有可能产生共模电压施加在两个输入端。

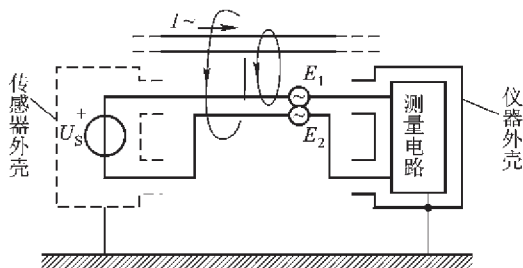
如图 6.3 (a) 所示，若  $U_H$  很高，通过局部电容  $C_{C1}$ ,  $C_{C2}$ ,  $C_{C3}$ ,  $C_{C4}$  耦合到无屏蔽双输入线上的对地电压是  $U_H$  在相应电容上的分压值  $U_1$  及  $U_2$ ：

$$U_1 = \frac{\frac{1}{C_{C3}}}{\frac{1}{C_{C1}} + \frac{1}{C_{C3}}} U_H = \frac{C_{C1}}{C_{C1} + C_{C3}} U_H \quad (6.8)$$

$$U_2 = \frac{C_{C2}}{C_{C2} + C_{C4}} U_H \quad (6.9)$$



(a)



(b)

图 6.3 电磁场干扰引起共模电压

当  $U_1 = U_2$  时，它们即是共模干扰电压；当  $U_1 \neq U_2$  时，则既有共模干扰电压，又有差模干扰电压。图 6.3 (b) 表示大电流导体的电磁场在双输入线中感应产生的干扰电动势  $E_1$  及  $E_2$  也具有相似的性质。即当  $E_1 = E_2$  时，产生共

模干扰；当  $E_1 \neq E_2$  时，既产生共模干扰又产生差模干扰电动势  $E_n = E_1 - E_2$ 。

### (3) 由不同地电位引起的共模干扰

当被测信号源与检测装置相隔较远，不能实现在共同的“大地点”上接地时，由于来自强电设备的大电流流经大地或接地系统导体，使得各点电位不同，并造成两个接地点的电位差  $U_{ce}$ ，即会产生共模干扰电压，如图 6.4 所示。图中  $R_e$  为两个接地点间的等效电阻。

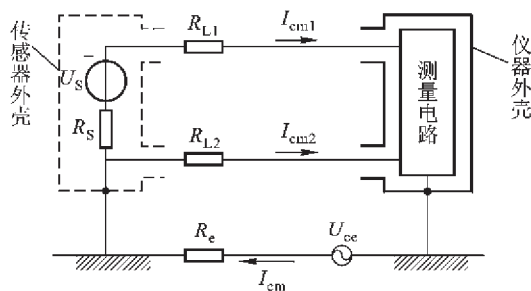


图 6.4 地电位差形成共模干扰电压

## 6.3 干扰的抑制方法

目前在计算机检测系统中，主要从硬件和软件两个方面来考虑干扰抑制问题。其中，接地、屏蔽、去耦，以及软件抗干扰等是抑制干扰的主要方法。

### 6.3.1 计算机检测系统的接地

接地技术起源于强电，其概念是将电网的零线及各种设备的外壳接大地，以起到保障人身和设备安全的目的。在电子装置与计算机系统中，接地又有了新的内涵，这里的“地”是指输入信号与输出信号的公共零电位，它本身可能与大地相隔离。而接地不仅是保护人身和设备安全，也是抑制噪声干扰，保证系统工作稳定的关键技术。在设计和安装过程中，如果能把接地和屏蔽正确地结合起来使用，是可以抑制大部分干扰的。因此，接地是系统设计中必须加以充分考虑的问题。

通过正确的接地，可消除各电路电流流经公共地线阻抗时所产生的噪声电压，避免磁场和地电位差的影响，不使其形成地环路，避免噪声耦合的影响。我们知道，作为导体，地球的体积非常大，其静电容量也是非常大的，故其电位比较恒定。在实际的工程应用中，常将地球电位作为基准电位，即零电位。此外，通过导体与大地相连时，即使有少许的接地电阻，只要没有电流导入大

地，可以认为导体的各部分以及与该导体连接的其他导体全都和大地一样为零电位。

当然，检测系统在工作时，系统和基准电位之间总会有微小的电位差，要完全不让电流流入接地点是困难的。因此，接地电位的变化是产生干扰的最大原因之一。

### 6.3.2 接地的类型

检测系统的接地主要有两种类型。

保护接地：保护接地是为了避免当设备的绝缘损坏或性能下降时，系统操作人员遭受触电危险和保证系统安全而采取的安全措施。

工作接地：工作接地是为了保证系统稳定可靠地运行，防止地环路引起干扰而采取的防干扰措施。

#### (1) 一点接地和多点接地

一般来说，系统内印制电路板接地的基本原则是高频电路应就近多点接地，低频电路应一点接地。因为在低频电路中，布线和元件间的电感并不是大问题，而公共阻抗耦合干扰的影响较大，因此，常以一点为接地点。高频电路中各地线电路形成的环路会产生电感耦合，增加了地线阻抗，同时各地线之间也会产生电感耦合。在高频、甚高频时，尤其是当地线长度等于  $1/4$  波长的奇数倍时，地线阻抗就会变得很高。这时的地线就变成了天线，可以向外辐射噪声信号。所以这时的地线长度应小于  $1/2$  信号波长，才能防止辐射干扰，并降低地线阻抗。实验证明，在超高频时，地线长度应小于  $25\text{ mm}$ ，并要求地线镀银处理。

一般来说，频率在  $1\text{ MHz}$  以下，可用一点接地；而高于  $10\text{ MHz}$  时，则应多点接地。在  $1\sim 10\text{ MHz}$  之间时，如果采用一点接地的方式，其地线长度就不要超过波长的  $1/20$ 。否则，应采用多点接地的方式。

#### (2) 交流地与信号地

在一段电源地线的两点间会有数毫伏，甚至几伏电压。对低电平的信号电路来说，这是一个非常严重的干扰，必须加以隔离和防止，因此，交流地和信号地不能共用。

#### (3) 浮地与接地

多数的系统应接大地，有些特殊的场合，如飞行器或舰船上使用的仪器仪表不可能接大地，则应采用浮地方式。系统的浮地就是将系统的各个部分全部与大地浮置起来，即浮空，其目的是为了阻断干扰电流的通路。浮地后，检测电路的公共线与大地(或者机壳)之间的阻抗很大，所以，浮地同接地相比，能更强地抑制共模干扰电流。浮地方法简单，但全系统与地的绝缘电阻不能小于

50 M $\Omega$ 。这种方法有一定的抗干扰能力,但一旦绝缘下降便会带来干扰,此外,浮空容易产生静电,也会导致干扰。

还有一种方法,将系统的机壳接地,其余部分浮空。这种方法抗干扰能力强,而且安全可靠,但制造工艺较复杂。

#### (4) 数字地

数字地又称逻辑地,主要是逻辑开关网络,如 TTL、CMOS 印刷板等数字逻辑电路的零电位。印刷板中的地线应呈网状,而且其他布线不要形成环路,特别是环绕外周的环路,在噪声干扰上这是很重要的问题。印刷板中的条状线不要长距离平行,不得已时,应加隔离电极和跨接线,或作屏蔽处理。

#### (5) 模拟地

在进行数据采集时,利用 A/D 转换为常用方式,而模拟量的接地问题是必须重视的。当输入 A/D 转换器的模拟信号较弱(0~50 mV)时,模拟地的接法显得尤为重要。

为了提高抗共模干扰的能力,可采用三线采样双层屏蔽浮地技术。所谓三线采样,就是将地线和信号线一起采样,这样的双层屏蔽技术是抗共模干扰最有效的办法。如图 6.5 所示,其中,图 6.5 (b)为图 6.5 (a)的等效电路。

在等效电路图中, $R_3$  为测量装置 A/D 转换器的等效输入电阻; $R_4$  为低端到内屏蔽的漏电阻,约  $10^9 \Omega$ ;  $C_4$  为低端到内屏蔽的寄生电容,约为 2 500 pF;  $R_5$  为内屏蔽到外屏蔽漏电阻,约  $10^9 \Omega$ ;  $C_5$  为内屏蔽到外屏蔽的寄生电容,约为 2 500 pF;  $R_6$  为低端到外屏蔽的漏电阻,约  $10^{11} \Omega$ ;  $C_6$  为低端到外屏蔽的寄生电容,约 2 pF。

共模电压( $U/2 + U_{ac}$ )所引起的共模电流  $I_{CM1}$ 、 $I_{CM2}$ 、 $I_{CM3}$  中, $I_{CM1}$  是主要部分,它通过内屏蔽  $R_5$ 、 $C_5$  入地,不通过  $R_2$ ,所以不会引起与信号源相串联的常态干扰; $I_{CM2}$  流过的阻抗比  $I_{CM1}$  流过的大一倍,其电流只有  $I_{CM1}$  的一半; $I_{CM3}$  在  $R_2$  上所产生的压降可以忽略不计。此时只有  $I_{CM2}$  在  $R_2$  上的压降导致常态干扰而引起误差,但其数值很小。如 10 V (DC) 的共模电压仅产生 0.1  $\mu$ V (DC) 的常态型电压和 20  $\mu$ V (AC) 的常态型电压。

在实际应用中,由于传感器和机壳之间容易引起共模干扰,所以 A/D 转换器的模拟地一般采用浮空隔离的方式,即 A/D 转换器不接地,它的电源自成回路。A/D 转换器和计算机的连接通过脉冲变压器或光电耦合器来实现。

#### (6) 信号地(传感器地)

在检测系统中,传感器是重要的组成部分,但一般的传感器输出的信号都比较微弱,传输线较长,这是很容易受到干扰的。所以,传感器的信号传输线应当采取屏蔽措施,以减少电磁辐射影响和传导耦合干扰。

传感器的地,一般以 5  $\Omega$  导体(接地电阻)一点入地,注意这种地是不浮



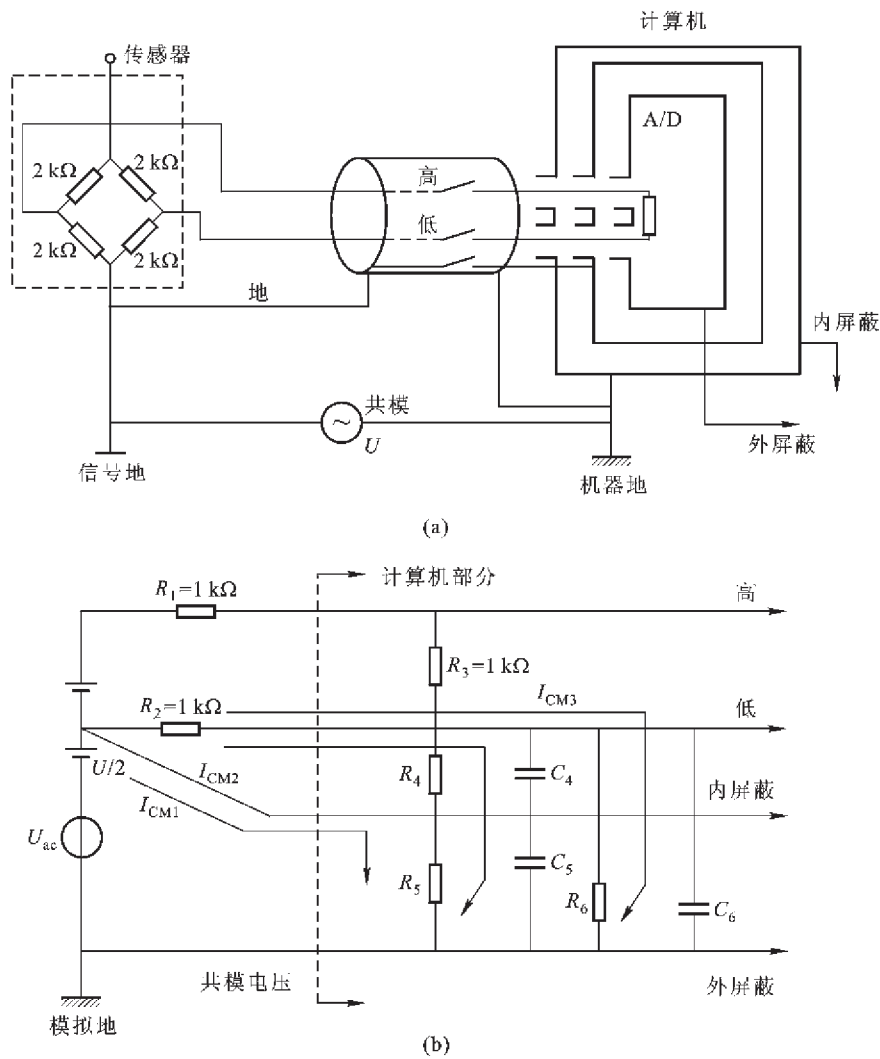


图 6.5 A/D 转换器的屏蔽

空的。

(7) 屏蔽地

屏蔽接地的目的是避免电场和磁场对系统的干扰。实用中屏蔽的接法根据屏蔽对象的不同也各有不同。

电场屏蔽：电场屏蔽的目的是解决分布电容的问题，一般以接大地的方式解决。

电磁场屏蔽：主要是为了避免雷达、短波电台等高频电磁场的辐射干扰问

题,屏蔽材料要利用低阻金属材料,最好接大地。

**磁路屏蔽:**磁路屏蔽是为了防磁铁、电动机、变压器、线圈等磁感应、磁耦合而采取的抗干扰方法,其屏蔽材料为高磁材料。磁路屏蔽以封闭式结构为宜,并且接大地。

**放大电路的屏蔽:**检测系统中的高增益放大电路最好用金属罩屏蔽起来。放大电路的寄生电容会使放大电路的输出端到输入端产生反馈通路,容易使放大电路产生振荡。解决的办法就是将屏蔽体接到放大电路的公共端,将寄生电容短路以防止反馈,达到避免放大电路振荡的目的。

若信号电路是一点接地,低频电缆的屏蔽层也应是一点接地。如果电缆的屏蔽层接地点有一个以上,就会产生噪声电流。对于扭绞电缆的芯线来说,屏蔽层中的电流便在芯线中耦合出不同的电压,形成干扰源。

若电路有一个不接地的信号源与一个接地的(即使不是接大地)放大电路相连,输入端的屏蔽应接至放大电路的公共端。相反,若接地的信号源与不接地的放大器连接,即使信号源接的不是大地,放大电路的输入端也应接到信号源的公共端。

#### (8) 电缆和接插件的屏蔽

检测系统中,信号的传输距离可能较远,因而广泛采用带屏蔽体的电缆线传输的方式。在用电缆线连接时,常会发生无意中的地环路以及屏蔽不良,特别是当不同的电路在一起时更是如此。所以,在布线走线时应注意减少这些现象的发生,并应做到以下几点。

① 高电平线和低电平线不要走同一条电缆。当不得已时,高电平线应组合一起,并要单独加以屏蔽。同时要仔细选择低电平线的位置。

② 高电平线和低电平线不走同一接插件。不得已时,要将高电平端子和低电平端子分支两端,中间留备用端子,并在中间接高电平引线地线和低电平引线地线。

③ 系统的出入电缆部分应保持屏蔽完整。电缆的屏蔽体也要经过接插件予以连接。当两条以上屏蔽电缆共用一个插件时,每条电缆的屏蔽层都要单独用一个接线端子。以免造成地环路使电流在各屏蔽层中间流动,产生新的干扰。

④ 低电平电缆的屏蔽层要一端接地,屏蔽层外面要有绝缘层,以防与其他地线接触。

#### (9) 其他接地

**功率地。**这种地线的电流较大,接地线的线径应较粗,且与小信号地线分开,连直流地。

**小信号前置放大电路与内存放大电路的地。**这种放大电路输入信号微弱,