

第七章 数控系统的电磁兼容设计

7.1 电磁兼容性概述

电磁兼容性 (EMC) 是指：电气设备产生的电磁骚扰不应超过其预期使用场合允许的水平；设备对电磁骚扰应有足够的抗扰度水平，以保证电气设备在预期使用环境中可以正确运行。

电磁兼容的主要内容是围绕造成干扰的三要素进行的，即电磁骚扰源、传输途径和敏感设备。

数控系统一般在电磁环境较恶劣的工业现场使用，为了保证系统在此环境中能够正常工作，系统必须达到 JB/T 8832—2001 “数控系统通用技术条件”中的电磁兼容性要求。

一、数控系统电磁兼容性要求

数控系统一般在电磁环境较恶劣的工业现场使用，为了保证系统在此环境中能够正常工作，系统必须达到 JB/T 8832—2001 “机床数控系统通用技术条件”中的电磁兼容性要求。

1. 电压暂降和短时中断抗扰度

数控系统运行时，在交流输入电源任意时间电压幅值降为额定值的 70%，持续时间 500ms，相继降落间隔时间为 10s；在交流输入电源任意时间电压短时中断 3ms，相继中断间隔时间为 10s。电压暂降和短时中断各进行 3 次，数控系统应能正常工作。

2. 浪涌（冲击）抗扰度

数控系统运行时，分别在交流输入电源相线之间叠加峰值为 1KV 的浪涌（冲击）电压；在交流输入电源相线与保护接地端（PE）间叠加峰值为 2KV 浪涌（冲击）电压。浪涌（冲击）重复率为 1 次/min，极性为正/负极。试验时正/负各进行 5 次，数控系统应能正常工作。

3. 电快速瞬变脉冲群抗扰度

(1) 数控系统运行时，分别在交流供电电源端和保护地端（PE）之间，加入峰值 2KV、重复频率 5KHz 脉冲群，时间 1min。试验时，数控系统能正常工作。

(2) 数控系统运行时，在 I/O 信号、数据和控制端口电缆上用耦合夹加入峰值 1KV，重复频率 5KHz 脉冲群，时间 1min。试验时，数控系统能正常工作。

4. 静电放电抗扰度

数控系统运行时，对操作人员经常触及的所有部位和保护地端（PE）之间进行静电放电试验，接触放电电压 6KV，空气放电电压 8KV，试验中数控系统能正常运行。

二、 机床数控系统抗干扰措施

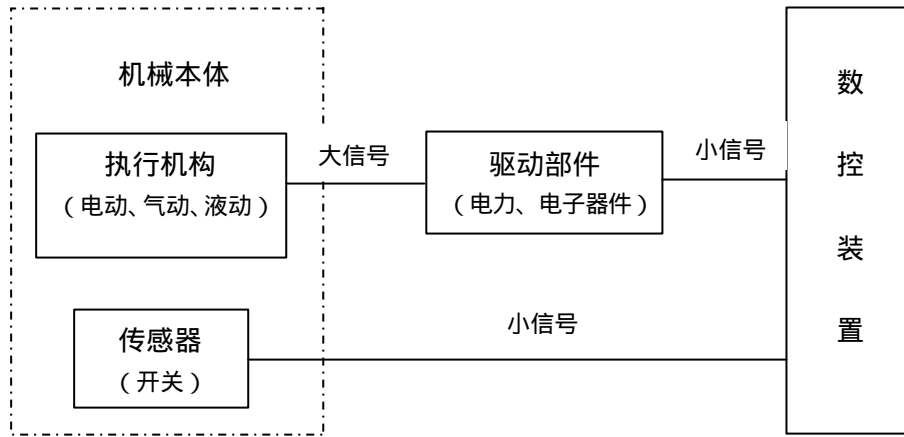


图 7-1 机床数控系统组成

机床数控系统组成如图 7-1 所示，系统中既包含高电压、大电流的强电设备，又包含低电压、小电流的控制与信号处理设备和传感器，即弱电设备。强电设备产生的强烈电磁骚扰对弱电设备的正常工作构成极大的威胁。此外，系统所在的生产现场的电磁环境较恶劣，系统外各种动力负载的骚扰、供电系统的骚扰、大气中的骚扰等都会对系统内的弱电设备产生严重影响，由于弱电设备是控制强电设备的，所以，一旦弱电设备受到干扰，最终将导致整个系统的瘫痪。

抑制骚扰的发射，切断骚扰的传输途径，提高敏感设备的抗干扰能力是系统达到电磁兼容的主要手段，最常采用的是屏蔽、滤波、接地三大技术。

7.2 接地技术

接地的含义是提供一个等电位点或电位面，为了防止共地线阻抗干扰，在每个设备中可能有多种接地线，但概括起来可以分为三类，即保护地线（安全接地）、工作地线（工作接地）、屏蔽地线（屏蔽接地）。

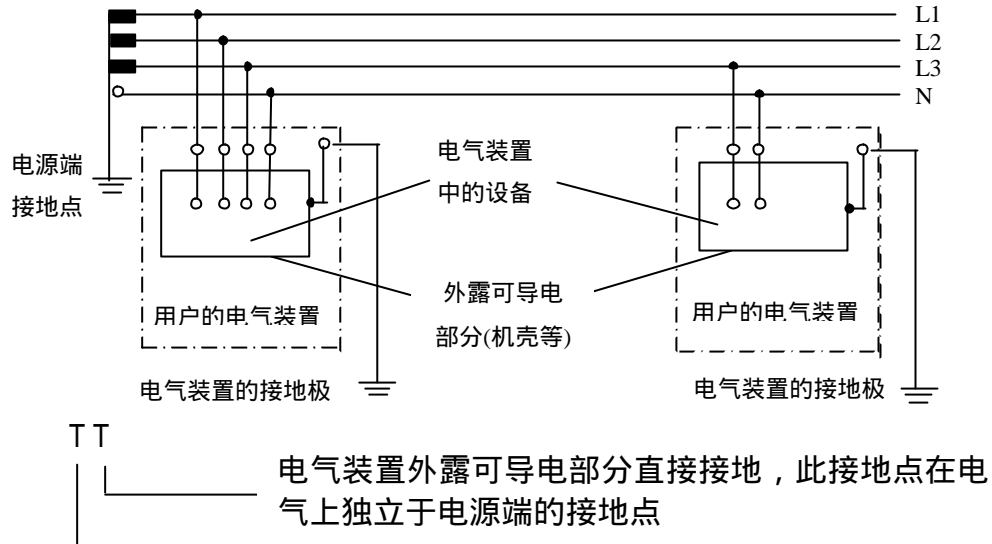
一、安全接地

为了保护人身和设备的安全，免遭雷击、漏电、静电等危害，设备的机壳、底盘所接地线称保护地线，应与真正大地连接。保护地线的基本要求参见

“GB5226.1-2002”有关章节的内容。

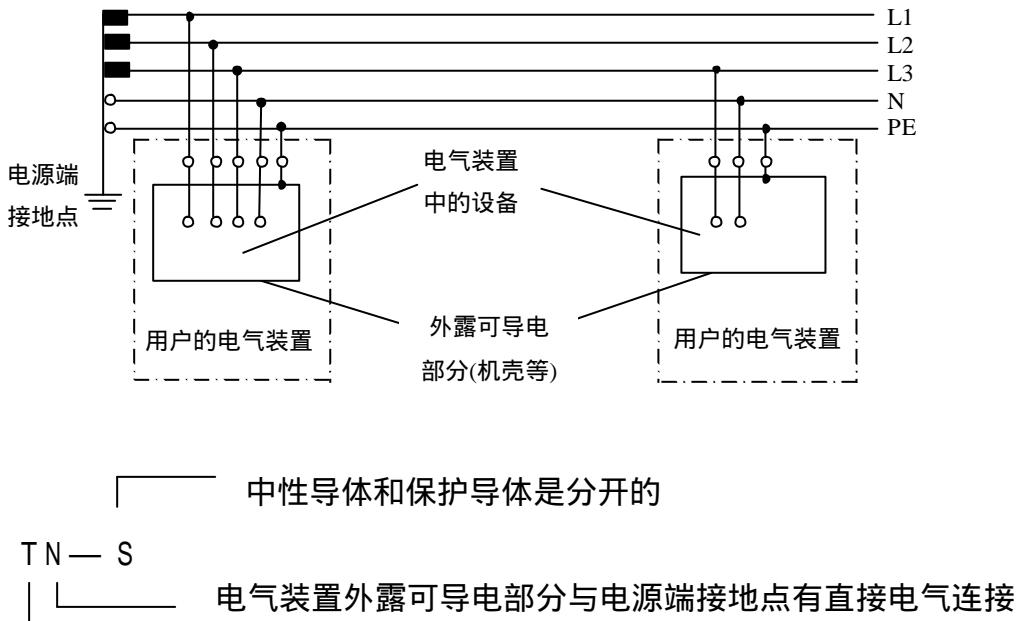
1、安全接地型式

机床数控系统电源采用“TT”或“TN-S”接地型式，不允许采用“TN-C”接地型式，如图 7-2、图 7-3、图 7-4 所示。



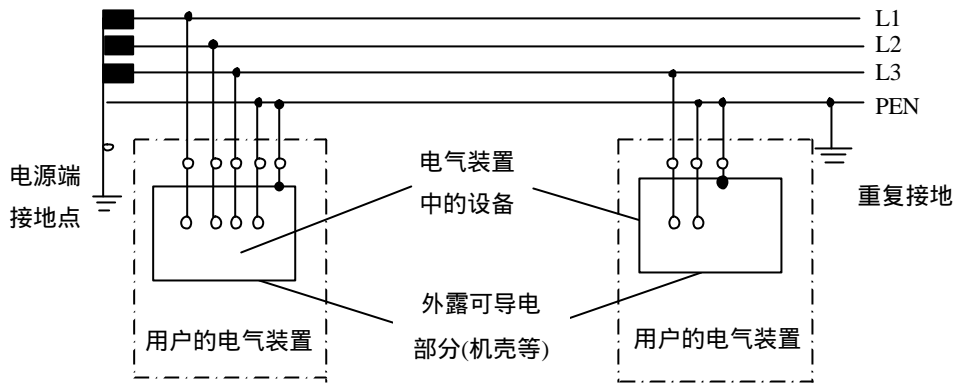
电源端有一点直接接地

图 7-2 TT 系统



电源端有一点直接接地

图 7-3 TN-S 系统



┌───┐ 中性导体和保护导体是合一的
 TN—C
 └───┘ 电气装置外露可导电部分与电源端接地点有直接电气连接

电源端有一点直接接地

图 7-4 TN—C 系统

注 1：电气控制柜中最好不要引入中线，如果使用中线，必须在安装图、电路图及接线端子上予以明确的 N 标识；

注 2：在电气控制柜内部不允许中线与地线联接，也不允许共用一个端子 PEN（PE 与 N 短接的端子称 PEN 端子）。

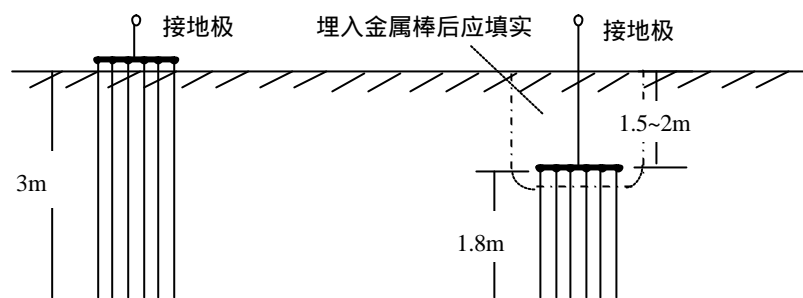
2、接地极的制作方法及接地电阻。

习惯上人们常把地下的金属管道作为接地地极，特别是自来水管，由于它们和土壤之间有大面积的接触，这种方法的接地电阻一般小于 $3\ \Omega$ 。但要指出的是用水管做接地电极的安全性。例如：在对建筑物进行维修或对水管系统进行改装时，通入管道的故障电流或杂散电流就可能对工作人员造成伤害。此外，还要注意水管金属间的连续性，任何非导体的联接件都可以使水管的接地有效性受到妨碍。

正规的做法是借助理入地下的金属棒、金属板来实现对大地的电气接触，简易做法有以下二种。

方法一：采用直径为 1.2、1.6 或 1.9cm，长度为 1.8/2.4/3.0/3.6 或 4.8m 的铜包钢棒(选择地势低、较潮湿的地方)将棒打入或埋入地下，由一根接地棒组成的单一电极，它的对地电阻往往大于 $20\ \Omega$ ，一般采用多个金属棒并联构成接

地电阻小于 $4\ \Omega$ 的接地极，如图 7-5 所示。



(a) 将金属棒直接打入或埋入地下 (b) 挖坑并将金属棒打入或埋入地下

图 7-5 金属棒埋入地下作接地极

方法二：采用厚度 5mm ，面积 0.5m^2 的金属板(铜板为佳)埋入地底，如图 7-6 所示。

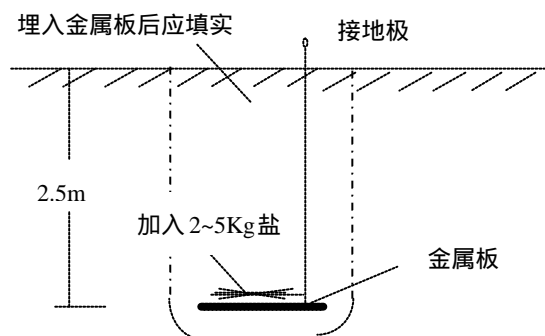


图 7-6 金属板埋入地下作接地极

3、保护接地设计要点

(1) 电气设备都应设计专门的保护导线接线端子(保护接地端子)，并且采用 \oplus 符号标记，也可用黄绿双色标记。不允许用螺丝在外壳、底盘等代替保护接地端子。

保护接地端子与电气设备的机壳、底盘等应实现良好的搭接，设备的机壳(机箱)、底盘等应保持电气上连续，保护接地电路的连续性应符合 GB/T5226.1-1996 的要求。

(2) 数控系统控制柜内应安装有接地排(可采用厚度 3mm 铜板)，接地排接入大地，接地电阻应小于 $4\ \Omega$ 。

(3) 系统内各电气设备的保护接地端子用尽量粗和短的黄绿双色线连接到接地排上，如图 7-7 所示。

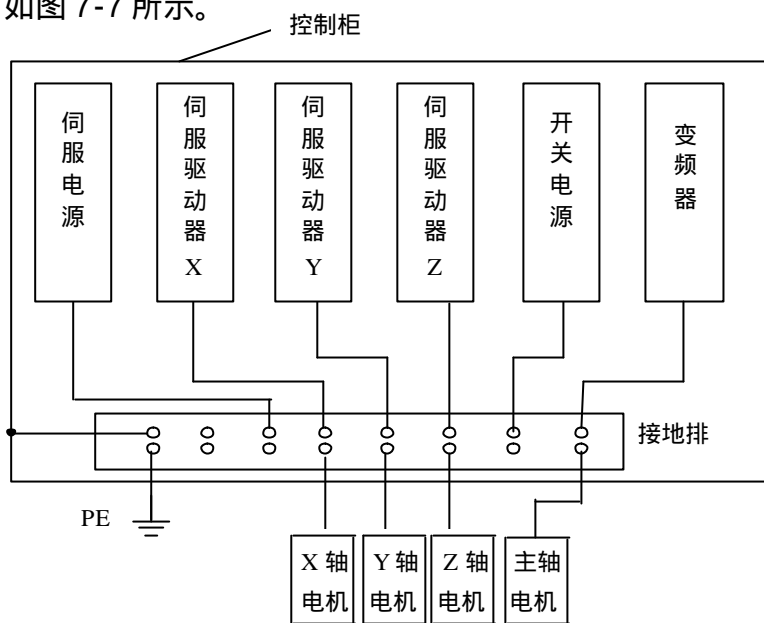
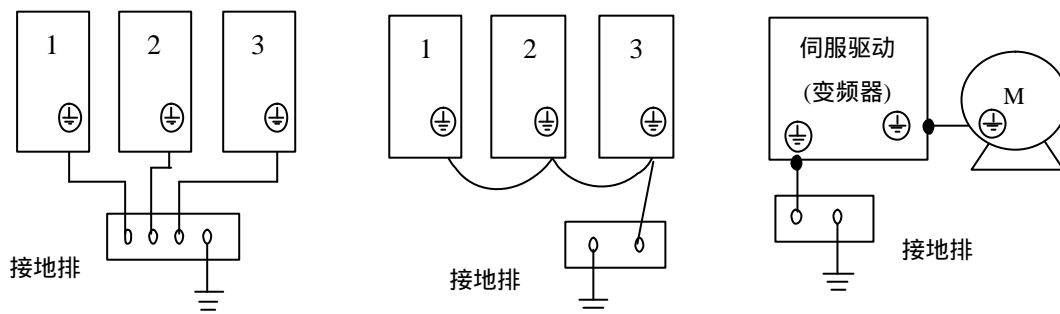
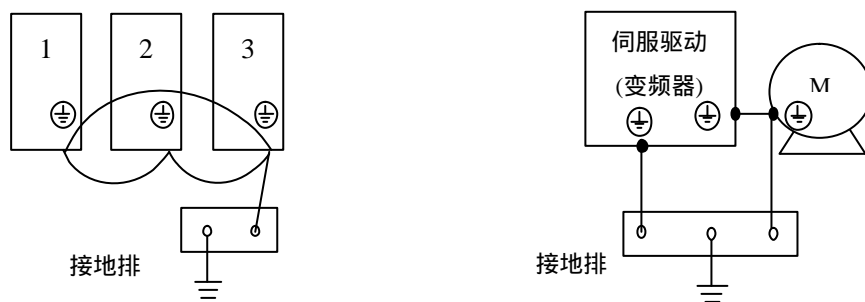


图 7-7 保护接地例

(4) 保护接地线不要构成环路，如图 7-8 所示。



(a) 正确接法



(b) 不正确接法

图 7-8 保护接地方法

(5) 设备金属外壳(或机箱)良好接地(大地),是抑制静电放电干扰的最主要措施。一旦发生静电放电,放电电流可以由机箱外层流入大地,不会影响内部电路。

(6) 设备外壳接大地,起到屏蔽作用,减少与其他设备的相互电磁干扰。

二、工作接地

1、工作接地方式

为了保证设备的正常工作,如直流电源常需要有一极接地,作为参考零电位,其它极与之比较,例如 $\pm 15V$ 、 $\pm 5V$ 、 $\pm 24V$ 等。信号传输也常需要有一根线接地,作为基准电位,传输信号的大小与该基准电位相比较。这类地线称工作地线,在系统中一定要注意工作地线的正确接法,否则非但起不到作用反而可能产生干扰,如共地线阻抗干扰、地环路干扰、共模电流辐射等等。工作接地方式有浮地、单点接地和多点接地。

(1) 浮地

如图 7-9 所示,工作地线与金属机箱绝缘,工作地线是浮置的,其目的是防止外来共模噪声对内部电子线路的干扰。

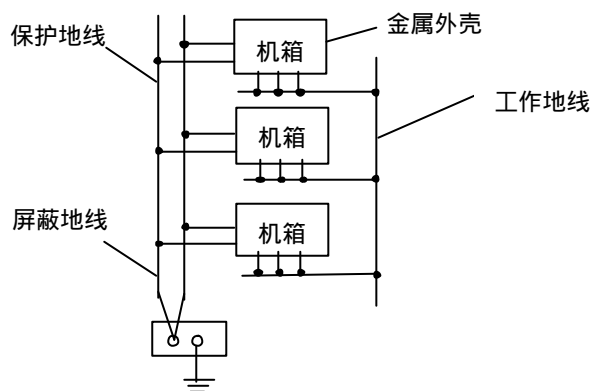
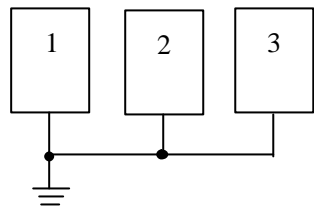


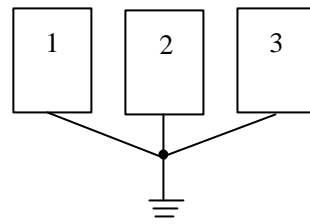
图 7-9 浮地方式

(2) 单点接地

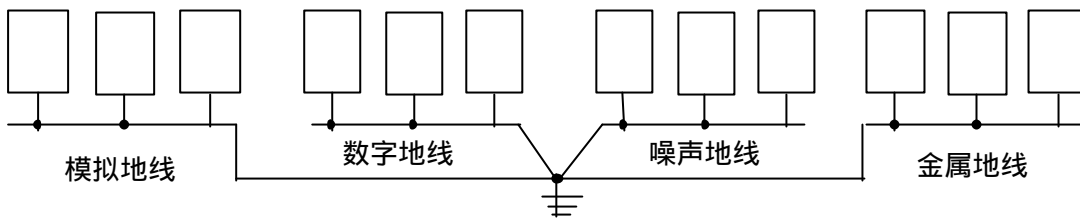
如图 7-10 所示,单点接地是指一个电路或设备中,只有一个物理点被定义为接地参考点,而其他凡是需要接地的点都被接到这一点上。如果一个系统包含许多设备,则每个设备的“地”都是独立的,设备内电路采用自己的单点接地,然后整个系统的各个设备的“地”都连到系统唯一指定的参考点上。设备内部电路的单点接地有串联、并联、串—并联混合接地三种方式。



(a) 单点串联接地方式



(b) 单点并联接地方式



(c) 单点串联和并联混合接地方式

图 7-10 单点接地

单点接地比较简单，走线和电路图相似，电路布线时比较容易。其缺点是：地线太长，当系统工作频率很高时，地线阻抗增加，容易产生共地线阻抗干扰，另一方面频率的升高使地线之间、地线和其他导线之间由于电容耦合、电感耦合产生的相互窜扰大大增加。

(3) 多点接地

如图 7-11 所示，多点接地是指设备（或系统）中的各个接地都直接接到距它最近的接地平面上，以便使接地线的长度为最短，接地平面可以是设备的底板、专用接地线、甚至是设备的框架。

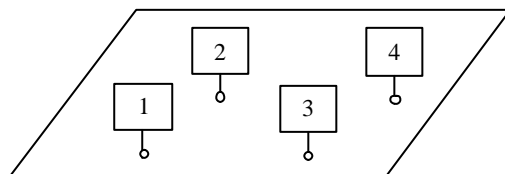


图 7-11 多点接地方式

多点接地的优点是接线比较简单，而且在连接地线上出现高频驻波的现象

也明显减少。但是多点接地系统中的多地线回路对线路的维护提出了更高的要求。因为设备本身的腐蚀、冲击振动和温度变化等因素都会使接地系统出现高阻抗，而使接地效果变差。

(4) 混合接地

混合接地是指对系统的各部分工作情况作一个分析，只将那些需要就近接地的点直接（或需要高频接地的点通过旁路电容）与接地平面相连。而其余各点采用单点接地的办法。

2、工作接地设计要点

(1) 设备地线不能布置成封闭的环状，一定要留有开口，因为封闭环在外界电磁场影响下会产生感应电动势，从而产生电流，电流在地线阻抗上有电压降，容易导致共阻抗干扰；

(2) 采用光电耦合、隔离变压器、继电器、共模扼流圈等隔离措施，切断设备或电路间的地环路，抑制地环路引起的共阻抗耦合干扰；

(3) 设备内的各种电路如模拟电路、数字电路、功率电路、噪声电路等都应设置各自独立的地线（分地），最后汇总到一个总的接地点；



(4) 低频电路（ $f < 1\text{MHz}$ ）一般采用树杈型放射式的单点接地方式，地线的长度不应该超过地线中高频电流波长（ $\lambda = c/f$ ）的 $1/20$ 即 $l < \lambda/20$ 。较长的地线应尽量减小其阻抗，特别是减小电感，例如增加地线的宽度，采用矩形截面导体代替圆导体作地线等；

(5) 高频电路（ $f > 1\text{MHz}$ ）一般采用平面式多点接地方式，或采用混合接地方式，如工控机电路底板的工作地线与机箱采用多点接地方式；

(6) 工作地线浮置方式（工作地线与金属机箱绝缘）仅适用小规模设备（这时电路对机壳的分布电容较小）和工作速度较低的电路（频率较低），而对于规模较大、电路较复杂、工作速度较高的控制设备不应采用浮地方式；

(7) 机柜内同时装有多个电气设备（或电路单元）的情况下，工作地线、保护地线和屏蔽地线一般都接至机柜的中心接地点（接地排），然后接大地，这种接法可使柜体、设备、机箱、屏蔽和工作地都保持在同一电位上。

三、屏蔽接地

为了抑制噪声,电缆、变压器等的屏蔽层需接地,相应的地线称为屏蔽地线。在低阻抗网络中,利用低电阻导体可以降低干扰作用,故低阻抗网络常用作电气设备内部高频信号的基准电平(如机壳或接地板),这种端接点应标明符号“”,公共基准电位的连接应使用单独点尽可能靠近 PE 端子直接接地或连接它自己的外部(无噪声)大地导体端子。设备中的“”端子一般作为屏蔽地。

1、屏蔽电缆的选择

屏蔽电缆的种类很多,一般可分为普通屏蔽线,双绞屏蔽线,同轴电缆。普通带编织层的多芯电缆具有电场屏蔽作用,双绞屏蔽线其总屏蔽层可以抑制电场干扰,双绞线可以抑制磁场干扰。

(1) 普通屏蔽线

适用于工作频率 30KHz 以下,特殊情况可用到几百千赫。

普通屏蔽线用于:输入/输出信号线、模拟信号线、脉冲式接口驱动器控制信号线(线长 2m)、计算机串行通讯线(线长 2m)、电源线、电机强电线。

(2) 双绞线和屏蔽双绞线

适用于工作频率 100KHz 以下,特殊情况可用到几百千赫,双绞线具有较好的磁场屏蔽性能。

双绞线用于:直流电源线、小功率交流电源线(<1KW)。

屏蔽双绞线用于:编码器信号线、高频信号线、脉冲接口式驱动器控制信号线(线长>2m),计算机串行通讯线(线长>2m)。

(3) 同轴电缆

适用于工作频率 1000MHz 以下。

(4) 双重屏蔽电缆

在系统中,如果采用一根电缆同时传输模拟信号和高速数字信号,则必须采用各自屏蔽线外再包一层总屏蔽的双重屏蔽电缆,这种电缆能防止电缆内部信号线间的干扰。

2、屏蔽电缆接地设计要点

(1) 对于低频电路($f < 1\text{MHz}$),电路通常是单端接地,屏蔽电缆的屏蔽层也应单端接地,单端接地对电场起到主动屏蔽的作用,也能起到被动屏蔽作用,但

对磁场没有屏蔽作用。

(2) 当电缆的长度 $l < 0.15 \lambda$ ($\lambda = c/f$) 时, 则要求单点接地。无论是单芯或是多芯屏蔽电缆, 在电源和负载电路中, 一端为接地点, 另一端与地绝缘, 其中接地点就是屏蔽层的接地。一般均在输出端接地, 不存在接地环路, 屏蔽效果好, 这是电缆层屏蔽最佳接地型式; 也可在输入端接地, 如图 7-12、图 7-13 所示。

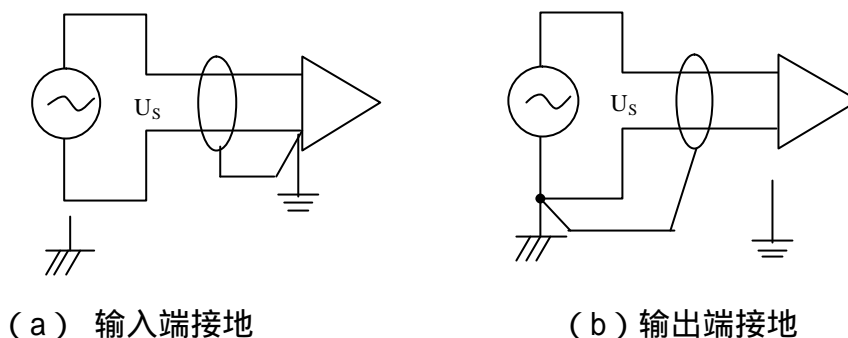


图 7-12 低频电路的屏蔽层接地方法

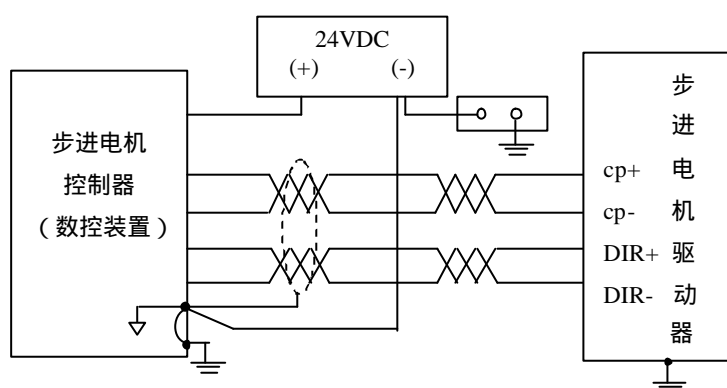


图 7-13 屏蔽层单端接地示例

(3) 对于高频电路 ($f > 1\text{MHz}$), 电路通常是双端接地, 屏蔽电缆的屏蔽层也应双端接地, 双端接地能对电场产生屏蔽, 对高频磁场也能产生屏蔽作用。屏蔽的电力电缆的屏蔽层应在电缆两端接地, 如图 7-14、图 7-15 所示。

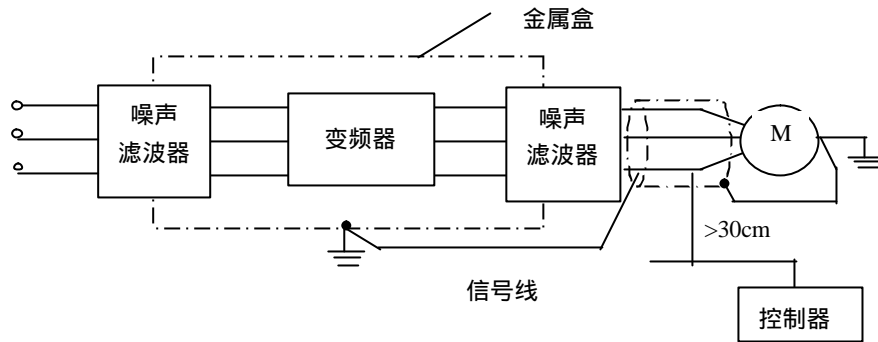


图 7-14 变频器电机电缆屏蔽层双端接地

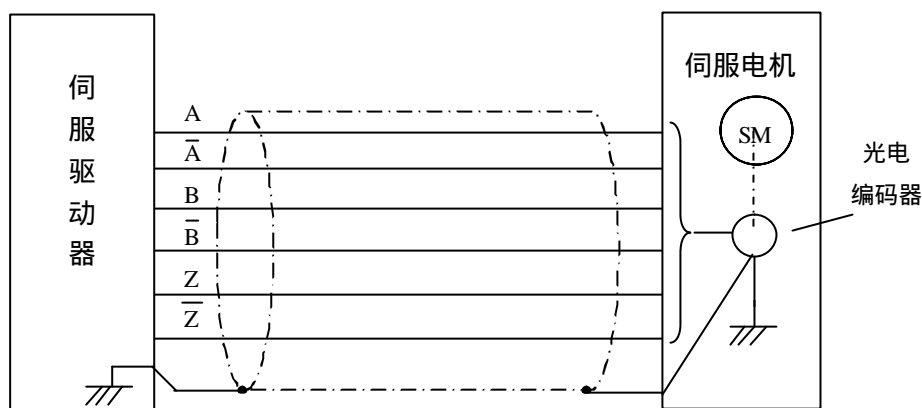


图 7-15 编码器电缆双端接地

(4) 当电缆的长度 $l > 0.15$ ($=c/f$) 时, 则采用多点接地。一般屏蔽层按 0.05 或 0.1 的间隔接地, 至少应该在屏蔽层两端接地, 以降低地线阻抗, 减少地电位引起的干扰电压;

(5) 数控系统中数控装置与伺服驱动器、变频器间的信号传输线一般推荐采用屏蔽双绞线, 且屏蔽层采用双端接地方式。

(6) 对于输入信号电缆的屏蔽层不能在机壳内接地, 只能在机壳的入口处接地, 此时屏蔽层上的外加干扰信号直接在机壳入口处入地, 避免屏蔽层上的外加干扰信号带入设备内部的信号电路上;

(7) 对于高输入或高输出阻抗电路, 尤其是在高静电环境中, 可能需要用双层屏蔽的电缆, 这时内屏蔽层可以在信号源端接地, 外屏蔽层则在负载端接地;

(8) 实现屏蔽层接地时应尽量避免产生所谓“猪尾巴”效应, 多芯电缆屏

蔽层一般用电缆金属夹钳接地。

7.3 屏蔽技术

屏蔽技术用来抑制电磁噪声沿着空间的传播,即切断辐射电磁噪声的传输途径。通常用金属材料或磁性材料把所需屏蔽的区域包围起来,使屏蔽体内外的“场”相互隔离。

为防止噪声源向外辐射场,则应该屏蔽噪声源,这种方法称为主动屏蔽。为防止敏感设备受噪声辐射场的干扰,则应该屏蔽敏感设备,这种方法称为被动屏蔽。

屏蔽按其机理可分为电场屏蔽、磁场屏蔽和电磁场屏蔽。

一、电场屏蔽

当噪声源是高电压、小电流时,其辐射场主要表现为电场,电场屏蔽是抑制噪声源和敏感设备之间由于存在电场耦合而产生的干扰。

1、电场屏蔽的机理

电场感应可看成是分布电容间的耦合,图 7-16 中,干扰源 A 和受感应物 B 的电位分别为 U_A 和 U_B ,那么 U_A 和 U_B 间的关系为:

$$U_B = \frac{C_1}{C_1 + C_2} U_A$$

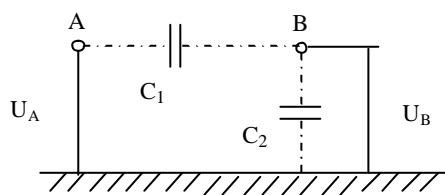


图 7-16 电场感受应示意图

式中, C_1 为 A、B 之间的分布电容; C_2 为受感应物对地电容。

通过上式可以看出,为了减弱受感应物 B 上的电场感应,可能采用的方法:

- (1) 增大 A、B 的距离,以减小 A、B 间的分布电容;
- (2) 尽可能使感受物 B 贴近接地板,以增大其对地电容;

(3) 可以在 AB 之间插入一块称为屏蔽板的金属薄板，如图 7-17 所示，此时

$$U_B = \frac{C_1}{C_1 + C_2 + C_4} U_A$$

其中 $C_1 \ll C_2$ ，故 $U_B \ll U_A$ ，起到屏蔽作用。

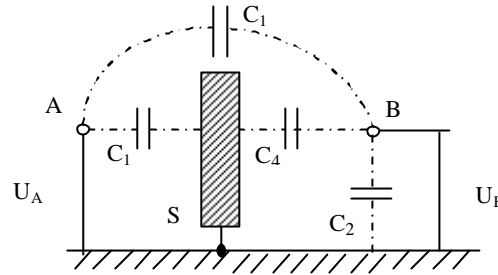


图 7-17 金属板对电场屏蔽作用的分析

注意事项：良好接地是金属板产生电场屏蔽的先决条件，如不接地或接地不良，则可能产生没有金属板时更严重的干扰。

2、电场屏蔽设计要点

(1) 系统中的强设备金属外壳（伺服驱动器、变频器、步进驱动器、开关电源、电机）可靠接地，实现主动屏蔽；

(2) 敏感设备（如数控装置等）外壳应可靠接地，实现被动屏蔽；

(3) 强设备与敏感设备之间距离尽可能远，一般在电柜内，强、弱电设备尽量保持 30cm 以上的距离，最小距离为 10cm；

(4) 高电压、大电流动力线与信号线应分开走线，例如使用独立线槽等，距离尽可能保持在 30cm 以上，最小距离为 5~7.5cm，同时尽量避免平行走线，不能将强电线与信号线捆扎在一起；

(5) 信号线应尽量靠近地线（或接地平板）或者用地线包围它；

(6) 屏蔽电缆既能对电场起到被动屏蔽作用，也能起到主动屏蔽作用，条件是屏蔽层接地。如果屏蔽层不接地，则有可能造成比不用屏蔽线时更大的电场耦合。

(7) 强电线如不能与信号线分开走线，则强电线应采用屏蔽线，屏蔽层应可靠接地。

二、磁场屏蔽

当噪声源具有低电压和大电流性能时，其辐射场主要表现为磁场，磁场屏蔽是抑制噪声源和敏感设备之间由于磁场耦合所产生的干扰。

1、磁场屏蔽的机理

磁场屏蔽主要是依赖高导磁材料所具有的低磁阻对磁通起到分路的作用，使得屏蔽体内部的磁场大大减弱，图 7-18 说明了这一原理。

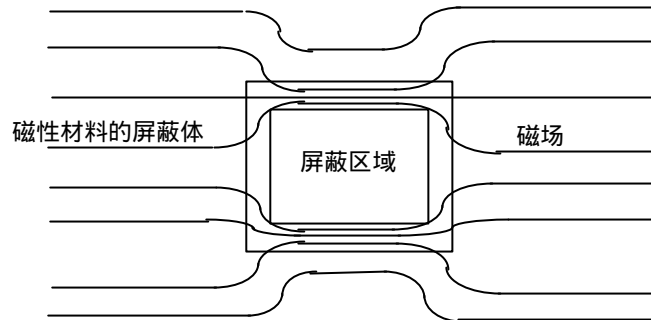


图 7-18 磁场的被动屏蔽

2、磁场屏蔽的设计要点

- (1) 选用高导磁率的材料，如坡莫合金等，并适当增加屏蔽体的壁厚；
- (2) 被屏蔽的物体不要安排在紧靠屏蔽体的位置上，以尽量减少通过被屏蔽物体体内的磁通；
- (3) 注意磁屏蔽体的结构设计，对于强磁场的屏蔽可采用双层磁屏蔽体结构；
- (4) 减少干扰源和敏感电路的环路面积。最好的办法是使用双绞线和屏蔽线，让信号线与接地线（或载流回线）扭绞在一起，以便使信号与接地（或载流回线）之间的距离最近；
- (5) 增大线间的距离，使得干扰源与受感应的线路之间的互感尽可能地小；
- (6) 如有可能，使干扰源的线路与受感应线的线路呈直角（或接近直角）布线，这样可大大降低两线路间的磁场耦合；
- (7) 敏感设备应远离干扰源（强电设备、变压器等）布置，距离应保持 30cm 以上。

三、电磁场屏蔽

电磁场屏蔽用于抑制噪声源和敏感设备距离较远时通过电磁场耦合产生的干扰。电磁场屏蔽必须同时屏蔽电场和磁场，通常采用电阻率小的良导体材料。空间电磁波在入射到金属体表面时会产生反射和吸收，电磁能量被大大衰

减。从而起到屏蔽作用。

四、屏蔽机箱（屏蔽盒）设计要点

1、结构材料

（1）机箱的屏蔽材料一般采用铜板、铁板、铝板、镀锌铁板等，厚度约为0.2~0.8mm，这些金属板对电场、高频磁场和电磁场屏蔽效能都很大，可达100dB以上；

（2）用于低频磁场屏蔽的高磁导率的铁磁性材料，一般不用作机箱，而是直接用在需要进行低频磁屏蔽的元件上；

（3）对于塑料壳体，是在其内壁喷涂一层薄膜导电层或在注塑时掺入高电率的金属粉或金属纤维，使之成为导电塑料。

2、搭接

机箱的电气连续性是壳体屏蔽效能的决定性因素，因此，必须尽量减少机箱结构的电气不连续性，以便控制经底板和机壳进出的泄漏和辐射。

（1）在底板和机壳的每一条缝和不连续处要尽可能好地搭接；

（2）保证接缝处金属对金属的接触，以防电磁能的泄漏和辐射；

（3）在可能的情况下，接缝应焊接。在条件受限制的情况下，可用点焊，小间距的铆接和用螺钉来固定；

（4）保证紧固方法有足够的压力，以便在有变形应力、冲击、振动时保持表面良好接触；

（5）在接缝不平整的地方，或在可移动的面板等处，必须使用导电衬垫或指形弹簧材料；

（6）保证同衬垫配合的金属表面没有非导电保护层（如油漆、喷塑）

（7）当需要活动接触时，使用指形压簧（而不用网状衬垫），并注意保持弹性指簧的压力；

注：衬垫种类有金属网射频衬垫，铜镀合金、导电橡皮、导电蒙布、泡沫衬垫。

3、穿透和开口

机箱中通常都有电源线和控制线的引入和引出，在面板部分还有操作键、显示屏的开孔，还有通风孔等，这些孔隙都可能造成电磁波的严重泄漏。

(1) 要注意由于电缆穿过机壳使整体屏蔽效能降低的程度。典型的未滤波的导线穿过屏蔽体时，屏蔽效能降低 30dB 以上；

(2) 电源线进入机壳时全部应通过滤波器盒；

(3) 信号线、控制线进入/穿出机壳时，要通过适当的滤波器；

(4) 为保险丝、插孔等加金属帽；

(5) 用导电衬垫和垫圈、螺母等实现钮子开关防止泄漏安装；

(6) 在屏蔽、通风和强度要求高而重量不苛刻时，用蜂窝板屏蔽通风口，最好用焊接方式保持线连接，防止泄漏；

(7) 尽可能在指示器、显示器后面加屏蔽，并对所有引线用穿心电容滤波；在不能从后面屏蔽指示器/显示器和对引线滤波时，要用与机壳连接的金属网或导电玻璃屏蔽在指示器/显示器的前面（采用夹金属丝的屏蔽玻璃或在透明塑料或玻璃上镀透明导电膜）。

7.4 滤波技术

滤波技术用来抑制沿导线传输的传导干扰，主要用于电源干扰和信号线干扰抑制。滤波器是由电感、电容、电阻或铁氧体器件构成的频率选择性网络，可以插入传输线中，抑制不需要的频率进行传播。

一、电源干扰抑制

1、采用电源滤波器抑制电源线传输电磁干扰

电源滤波器的作用是双向的，它不仅可以阻止电网中的噪声进入设备，也可以抑制设备产生的噪声污染电网。

(1) 电源线滤波器的结构

图 7-19 中 L_1 和 L_2 同时绕在一个磁芯上，这两个电感在电流的通过上是互补的，用来衰减共模干扰。 C_x 被用来衰减差模干扰。 C_y 被用来衰减共模干扰。

注： C_y 必须有较高的耐压值， C_y 的容值还受到对滤波器所允许的漏电流大小的限制，一般 C_y 选用 2.2nf/2000v 的高压瓷片电容， C_x 选用 100nf/1000v 的瓷片电容，R 选 1M /1w 的金属膜电阻。

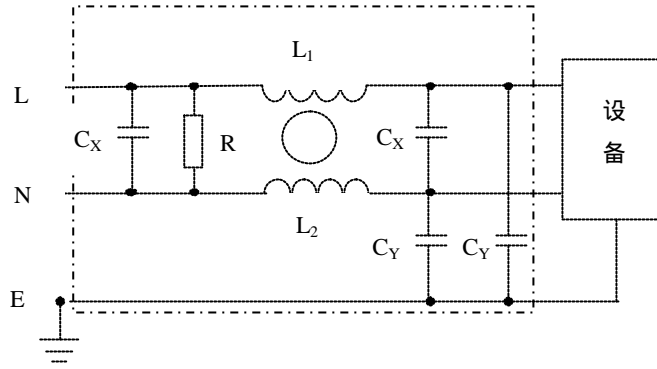


图 7-19 典型的电源线滤波器

(2) 滤波器的实际滤波效果

在实际运用的电源滤波器并非是一个理想的低通滤波器,滤波器的实际频率特性可由图 7-20 说明,从中可以看出,普通电源滤波器不能有效抑制快速瞬变脉冲干扰。

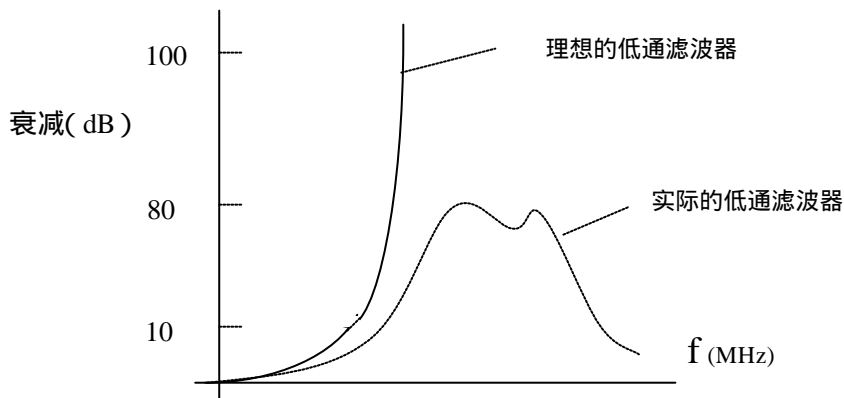


图 7-20 滤波器的实际特性

(3) 电源滤波器设计要点

- a. 滤波器一般安装在机柜底部交流电线入口处,不能让输入交流电源线在机柜内绕行很长距离后再接滤波器,以免该线在机柜内辐射噪声;
- b. 如果电源进线必须经过熔断器和电源开关等器件后才能接到滤波器上,则这段线路应施加屏蔽措施;
- c. 滤波器金属机壳最好直接安装在金属机柜上,而且应与机柜的接地端子靠得越近越好;
- d. 滤波器的输入/输出线要分开布置,不能有平行走线,更不应该捆扎在一起,否则输入线中的噪声将不经过滤波器直接耦合到输出线上;
- e. 滤波器输出线最好采用双绞线,加强抗磁场干扰能力;

f. 如果电源中高电压脉冲噪声比较多，则应选用能在更宽的频率上有较大衰减的电源滤波器，或者与铁氧体磁环线滤波器串联使用，取得好的滤波效果；

g. 流过滤波器的电流不允许超过滤波器最大额定电流，否则由于电感器的磁芯产生饱和，从而使电感量大大降低，失去抑制作用。

2、采用吸收型滤波器抑制电源线中的快速瞬变脉冲串干扰

吸收式滤波器由有耗器件构成，在阻带内吸收噪声的能量转化为热损耗，从而起到滤波效果。

(1) 铁氧体吸收型滤波器结构

用于电磁噪声抑制的铁氧体是一种磁性材料，由铁、镍、锌氧化物混合而成，铁氧体一般做成中空型，导线穿过其中，当导线中的电流穿过铁氧体时低频电流几乎可无衰减地通过，但高频电流却会受到很大的损耗，转变成热量散发，所以铁氧体和穿过其中的导线即成为吸收型低通滤波器，能有效抑制快速瞬变脉冲串干扰。根据不同的使用场合，铁氧体滤波器可以做成多种形式，图 7-21 列出了常用的 10 种形式。

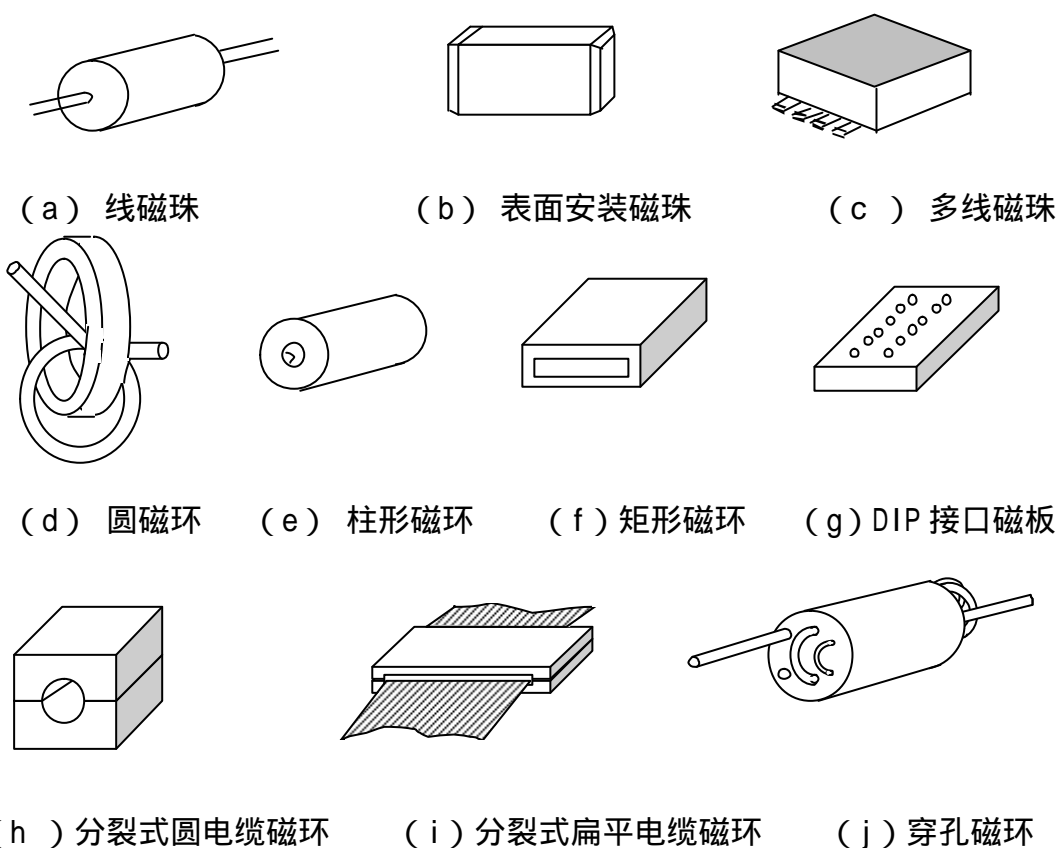


图 7-21 各种铁氧体磁环

(2) 铁氧体磁环构成线噪声滤波器设计要点

a. 电缆或导线应与环内径密贴，不要留太大的空隙，这样导线上电流产生的磁通可基本上都集中在磁环内，从而增加滤波效果；

b. 铁氧体磁环套在交流电源线和直流电源线上，用于抑制快速瞬变脉冲串干扰。

c. 将导线以同样方向和圈数绕在磁环上，绕的圈数越多，滤波效果越好，一般在强电设备（伺服驱动器、变频器）的输入侧一般为 4~5 圈，电线太粗时，可以用 2 个以上的磁环，如图 7-23 所示，使总圈数达到 4~5 圈，但输出侧的圈数必须在 4 以下，如图 7-22 所示。

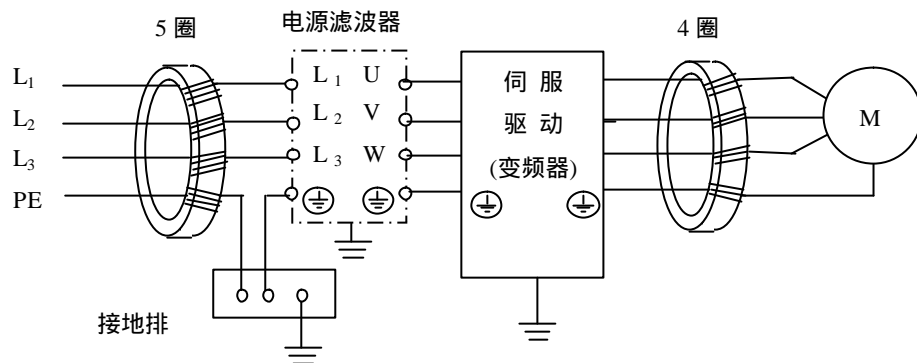


图 7-22 伺服驱动器或变频器滤波电路

注：图中电源滤波器只允许用在伺服驱动器（或变频器）的输入侧，而不允许用在输出侧。图中的接地线也可不绕在磁环上，在某些场合，地线不绕在磁环上的滤波效果更佳。

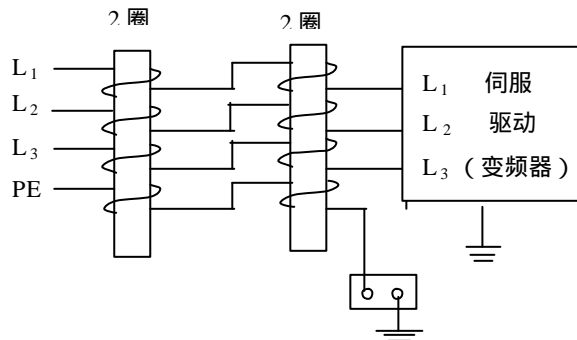


图 7-23 使用二个磁环串联

d. 磁环与电源滤波器串联使用，则构成 EMC 滤波器，滤波效果更佳；

e. 在用磁环抑制直流电源和信号线共模噪声电流时，最好把正负电源线对

或正负信号线对都穿过磁环，这样磁环就不易产生饱和，如图 7-24 所示。

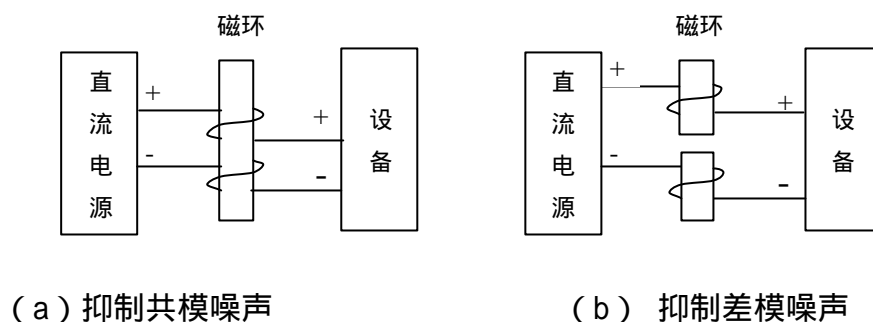


图 7-24 直流电源滤波电路

f. 如果使用磁珠或磁环的线路负载阻抗很高，则磁环很可能起不到作用，因为磁环的阻抗在几百兆赫时也只有几百欧，因此磁环比较适用于低阻抗电路。如果能在磁环后再并联电容组成类似 L-C 滤波器，则会大大降低负载阻抗，从而增加滤波效果，如图 7-25 所示。

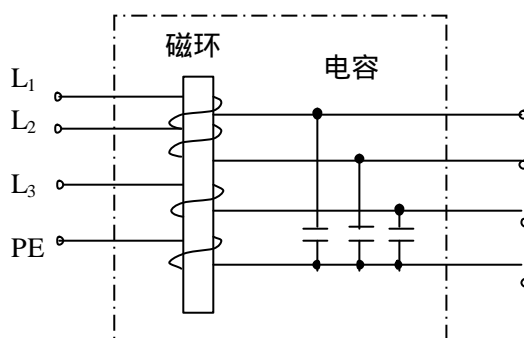


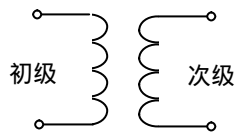
图 7-25 典型交流电源瞬变脉冲干扰抑制电路

3、采用隔离变压器供电，有效抑制电源中的脉冲串、雷击浪涌干扰

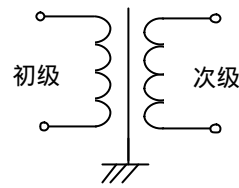
隔离变压器是一种用得相当广泛的电源线抗干扰措施，它最基本的作用是实现电路与电路之间的电气隔离，从而解决地线环路电流带来的设备与设备之间的干扰，同时，隔离变压器对于抗共模干扰也有一定作用，隔离变压器对瞬变脉冲串和雷击浪涌干扰能起到很好的抑制作用。

(1) 隔离变压器的类型

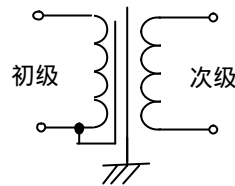
如图 7-26 所示，隔离变压器的类型有：简单的隔离变压器、带屏蔽层的隔离变压器、超级隔离变压器。



(a) 简单的隔离变压器



(b) 带屏蔽层的隔离变压器



(c) 超级隔离变压器 (多重隔离变压器)

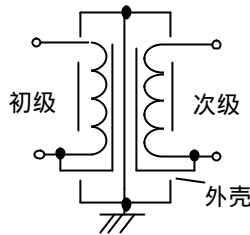


图 7-26 隔离变压器

(2) 隔离变压器设计要点

- a. 一般系统中选用带屏蔽的隔离变压器，特殊场合才选用超级隔离变压器；
- b. 屏蔽层必须接地，屏蔽层的连接线必须粗短而直接，否则在高频时的共模干扰抑制效果将变差；
- c. 隔离变压器初级进线与次级出线要分开布置，不能平行走线，更不能捆在一起，次级出线最好选用双绞线，加强抗磁场干扰能力；
- d. 隔离变压器对雷击浪涌高压脉冲具有良好的抑制作用，交流电源变压器加上浪涌抑制器件后就变成防雷变压器，如图 7-27 所示。

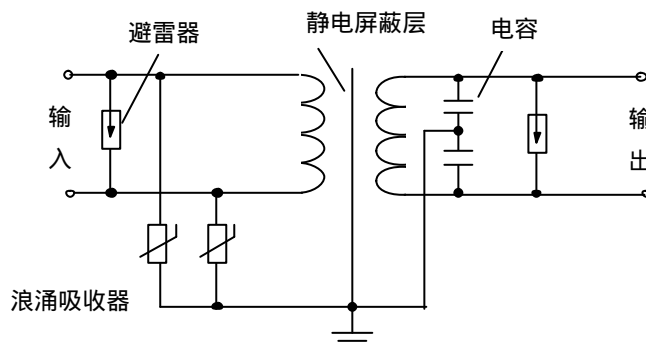


图 7-27 防雷变压器

图中避雷器即气体放电管，浪涌吸收器用压敏电阻，变压器带有屏蔽层，次级侧的电容器可进一步抑制浪涌中的残留共模噪声；

- e. 与磁环等配合使用，可以有效的抑制快速瞬变脉冲串干扰；

4、对于电网电压较长时间的欠电压、过电压和电压波动则需要安装交流稳压器给机床数控系统供电，如图 7-28 所示。

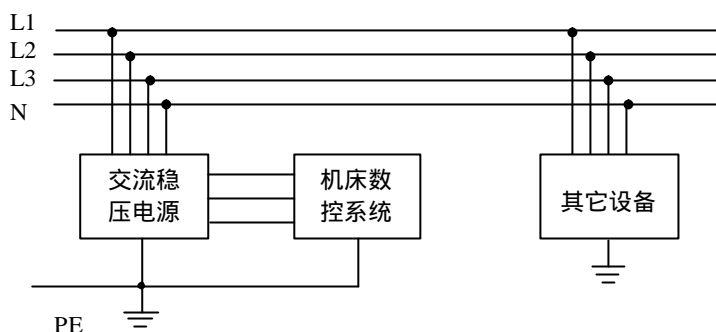
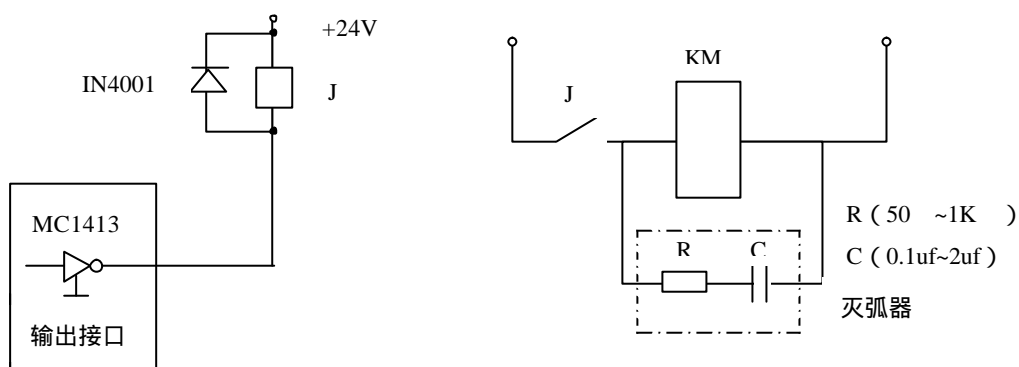


图 7-28 采用交流稳压器供电

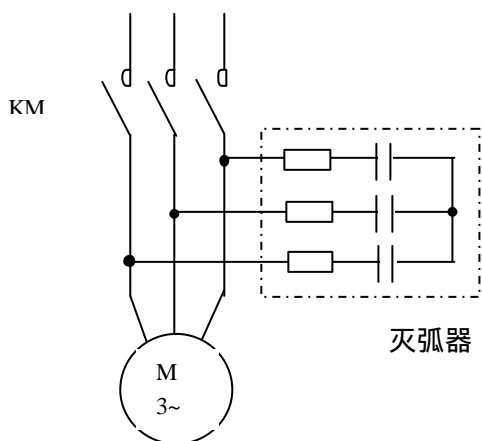
5、感性负载加吸收电路抑制瞬态噪声

系统中的感性负载如继电器、接触器、电磁阀、电机等在关断时会产生强烈的脉冲噪声，影响其他电路的正常工作，必须在感性负载处加吸收电路抑制瞬态噪声，其吸收电路的接线法如图 7-29 所示。



(a) 直流继电器线圈并联二极管

(b) 交流继电器、接触器、电磁阀等线圈并联 R-C (灭弧器)



(c) 三相交流异步电动机并接灭弧器

图 7-29 感性负载并联吸收器件

注：根据不同要求，感性负载两端也可并联电阻、压敏电阻、稳压管等吸收回路，但 R-C 吸收回路具有很好的抑制作用，推荐采用 R-C（灭弧器）进行吸收，灭弧器应尽量靠近感性负载进行安装。

二、信号线的干扰抑制

数控系统中，各种信号线最容易受到干扰，而引起设备工作不正常。信号传输线常采用绝缘隔离、阻抗匹配、平衡传输、屏蔽与接地、合理布线等措施来抑制干扰，而信号线采取滤波是抗干扰的另一重要措施

1、模拟信号线干扰抑制

(1) 模拟信号传输线，特别容易受外部干扰影响，所以配线应尽可能短，并应使用屏蔽线，如图 7-30 所示。

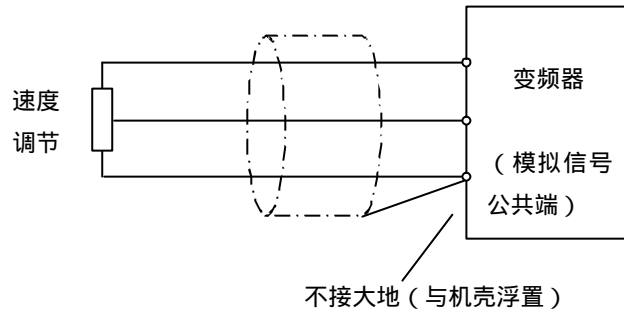


图 7-30 变频器速度调节

(2) 伺服驱动器或变频器连接模拟信号输出设备（数控装置）时，有时会由于模拟信号输出设备或由伺服驱动器或变频器产生的干扰引起误动作，发生这种情况时，可在外部模拟信号输出设备连接电容器铁氧体磁环。

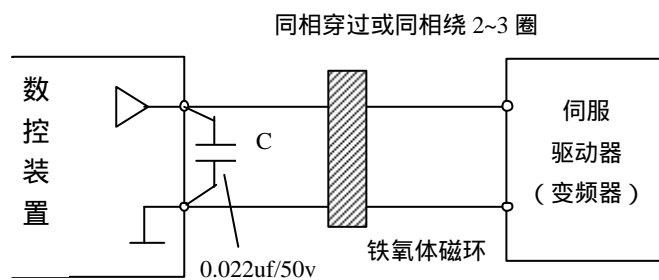


图 7-31 模拟信号线滤波

(3) 对变化缓慢的模拟信号可以采用 RC 低通滤波，如图 7-32 所示。

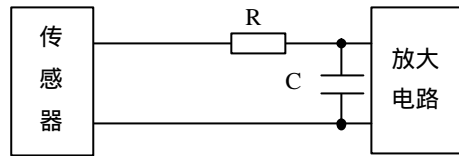


图 7-32 RC 低通滤波

(4) 用电流传输代替电压在传输线上传输，然后通过长线终端的并联电阻，再变成电压信号，此时传输线一定要屏蔽并“单端接地”，如图 7-33 所示。

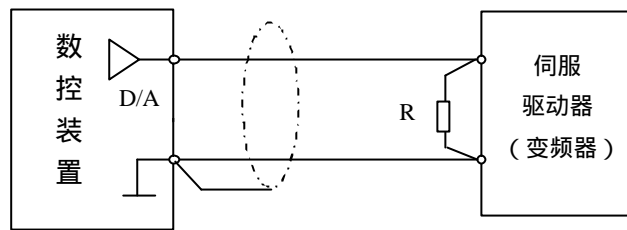


图 7-33 模拟信号电流传输

2、数字信号线干扰抑制

(1) 由于布线不当，信号环面积较大引起数字信号波形振荡，可采取串联电阻或插入一低通滤波器来抑制，如图 7-34 所示。

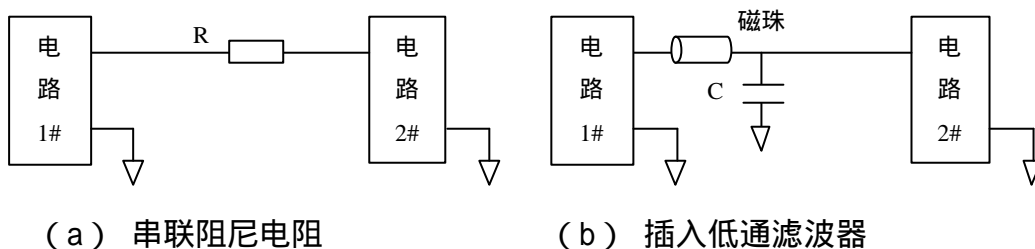


图 7-34 抑制数字信号振荡的方法

(2) 输入/输出传输线在连接器端口处应加高频去耦电容。通常 I/O 信号的频率要低于时钟频率，高频去耦电容的选择应能保证 I/O 信号正常传输，而滤除高频时钟频率及其谐波。电容应接在 I/O 线和地线之间；

(3) 在信号线上，安装数据线路滤波器，有效抑制高频共模干扰，数据线滤波器由铁氧体磁环或穿心电容构成，例如：将铁氧体磁环在靠近边处套住输入电缆，最好的办法是直接带滤波器的连接器，这种连接器的插座上每个引脚带有铁氧体磁珠和穿心电容组成的滤波器；

(4) 光电编码器、手摇脉冲发生器、光栅尺等输出信号在接收电路端并联电容可以有效抑制高频干扰，如图 7-35 所示。

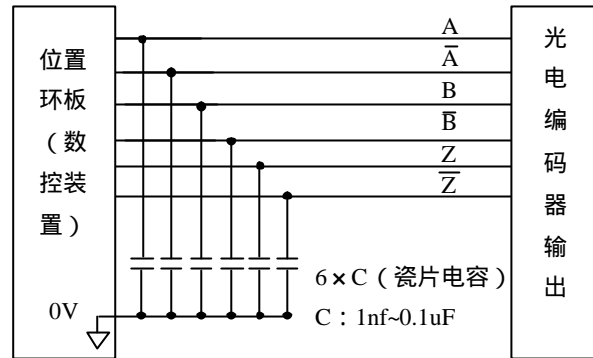


图 7-35 并联电容电路

(5) 降低敏感线路的输入阻抗，如在 CMOS 电路的入口端对地并联一个电容或一个阻值较低的电阻，可以降低因静电电容而引入的干扰；对差动传输的数字信号，在信号输入端并接电阻和电容，提高干扰抑制能力，如图 7-36 所示。

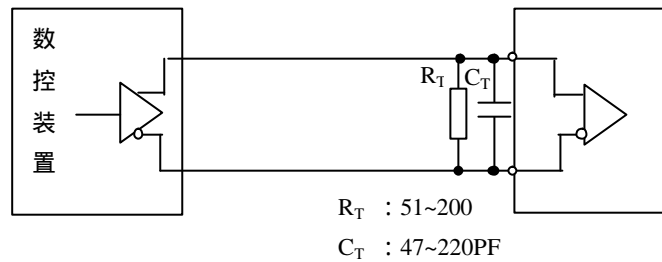


图 7-36 降低输入阻抗

7.5 设计指南

- 1、电气控制柜应该采用冷轧钢板制作，为了保证电柜的电磁一致性，采用一体结构或焊接。
- 2、电柜安装板采用镀锌钢板，以提高系统的接地性能。
- 3、控制柜内各个部件按照强弱电分开安装、布线。
- 4、各屏蔽电缆进控制柜时，在其进入处，屏蔽层接地。
- 5、各进给驱动电机、主轴驱动电机的动力线和反馈线直接接入驱动单元，不得经过端子转接。
- 6、各位置反馈线、指令给定线、通讯线等弱电信号线必须采用屏蔽电缆，

单股线直径不低于 0.2 平方毫米。若采用双绞双屏蔽电缆则更佳。

7、开关量端子板、编码盘反馈屏蔽电缆中电源线采用多芯绞合共用，以提高信号电源与这些部件的抗干扰能力。

8、各部件外壳必须可靠接地。

9、各结构间可靠接地、共地。

数控装置、驱动装置、异步电机、接触器、阀等控制电路设计实例，如图 7-37 所示，图中各器件的逻辑控制部件（如空气开关、接触器、继电器等）与电路省略。

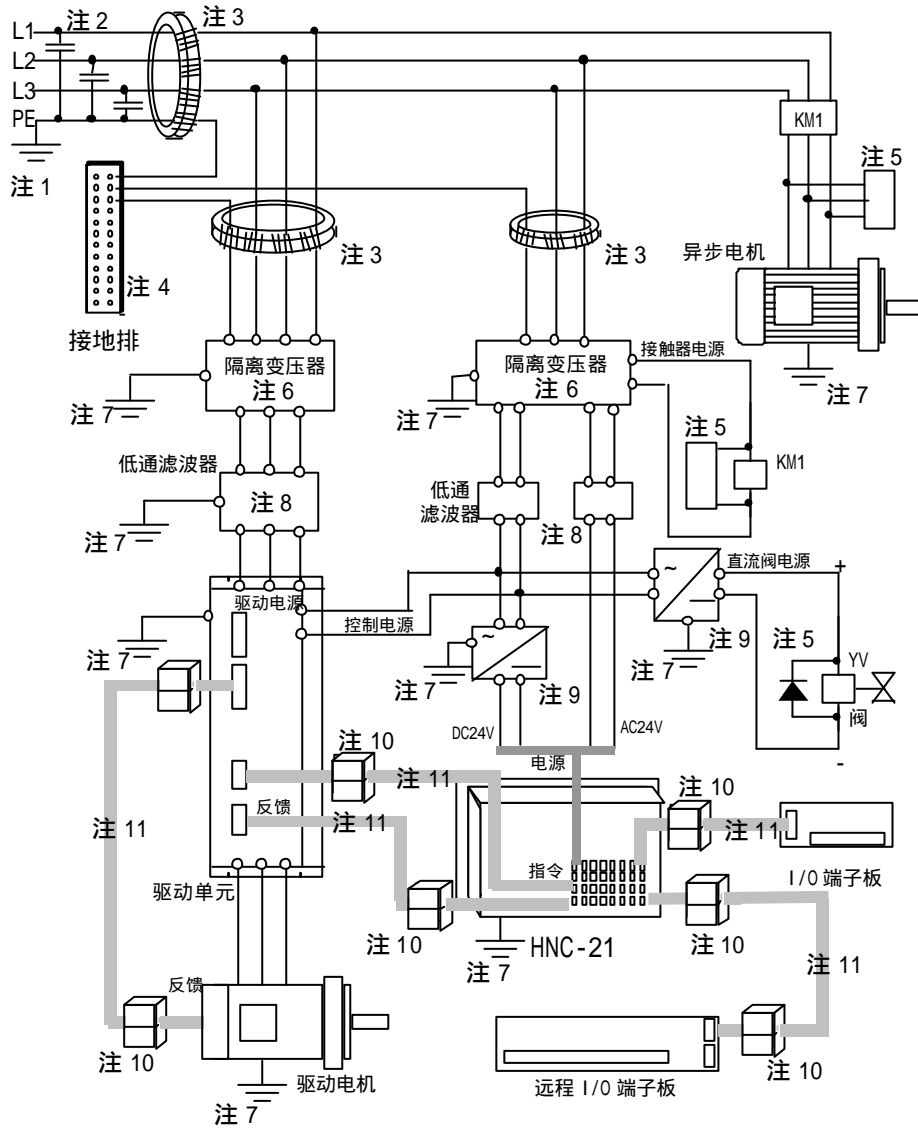


图 7-37 电磁兼容设计指南

注 1：必须对系统提供可靠接地，接地电阻小于 4 欧，并在控制柜内最近的位置接入 PE 接地排。

注 2：电源线进入电柜的位置（总空开前）三相对地接高压（2000V）瓷片电容，可非常明显的减少电源线进入的干扰（脉冲、浪涌）。

注 3：各线在磁环上绕 4 到 5 圈。

注 4：接地排采用不低于 3 毫米的铜板制作，保证良好接触、导通。

注 5：大电感负载（交流接触器线圈、三相异步电机、交流电磁阀线圈等）要采用 RC（灭弧器）吸收高压反电动势，抑制干扰信号。

注 6：伺服电源、控制电源、数控系统电源采用隔离变压器供电。

注 7：各部件外壳、屏蔽层可靠接地，重要部件及控制柜之间的接地线应不低于 2.平方毫米。

注 8：重要部件，如数控系统的交流电源应采用低通滤波器，减少工频电源上的高频干扰信号。

注 9：若数控单元的电源采用直流 24V 则可与输入/输出开关量共用一个电源，建议采用开关电源；直流阀、抱闸线圈的直流电源应与前者分开采用独立的电源。

注 10：各信号屏蔽电缆特别是码盘反馈与指令给定电缆在两端加穿过式铁氧体磁芯可有效提高信号传输的可靠性。

注 11：屏蔽电缆的屏蔽层应厚而密实，不应有空隙，每单根线应为多芯绞线，截面积不低于 0.2 平方毫米，信号电源线应采用多根并用（一般电源与电源地各用 3 根）。

若采用双绞双屏蔽电缆则效果更好。

习题及思考题

- 1、什么是电磁兼容？
- 2、电磁兼容的主要内容是围绕造成干扰的哪三个要素进行的？
- 3、数控系统有哪些电磁兼容性要求？
- 4、数控系统有哪些抗干扰措施？
- 5、接地线分为那几类，及各自有哪些设计要点？
- 6、电场、磁场以及电磁场屏蔽有哪些设计要点。
- 7、抑制电源的干扰有哪些措施？抑制信号线的干扰有哪些措施？

参考文献

- 1 . 沙斐。机电一体化系统的电磁兼容技术。北京：中国电力出版社，1999
- 2 . 钱振宇主编。电磁兼容测试和对策技术。上海：上海三基电子工业有限公司，1999
- 3 . 张松春，竺子芳，赵秀芬，蒋春宝。电子控制设备抗干扰技术及其应用。北京：机械工业出版社，1995
- 4 . 诸邦田。电子电路实用抗干扰技术。北京：人民邮电出版社，1996
- 5 . 毛楠，孙瑛。电子电路抗干扰实用技术。北京：国防工业出版社，1996