

PLC 控制系统的可靠性设计

刘善增

摘要: 本文介绍了 PLC 控制系统的可靠性设计,分析了影响 PLC 控制系统可靠性的设计因素。针对 PLC 控制系统的特性,详细阐述了电磁兼容性设计、软件抗干扰设计、耐环境设计和冗余设计在提高 PLC 控制系统中的应用。探讨了提高控制系统可靠性的几种主要措施,这些措施均具有使用价值。

关键词: PLC 控制系统 可靠性设计 措施

中图分类号: TM571.6+.1 文献标识码: B

The reliability Design of PLC control system

Abstract: This paper introduces the reliability design of PLC control system, and analyses the design factors of PLC control system, and aims at the characteristics of PLC, discusses the electromagnetic compatibility design, software anti-disturbance design, bear the environment design and redundancy design in the application which exalt reliability of the PLC control system. On the other hand, in this paper several main measurements to improve reliability of PLC control system are also investigated. These measurements are all practicable for kinds of control systems with PLC.

Keywords: PLC control system reliability design measurements

引言

可编程序控制器 (PLC) 是综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术的一种新型的、通用自动控制装置。它具有体积小、功能强、通用性好、可靠性高、使用维护灵活方便以及适应工业环境下应用等一系列优点,近年来在工业自动化、机电一体化、传统产业技术改造等方面应用越来越广泛,成为现代工业控制的三大支柱 (PLC、机器人和 CAD/CAM) 之一。

由于 PLC 是专门为工业生产环境而设计的控制装置,厂家在硬件和软件上都采用了大量的抗干扰措施。所以,一般不需要采取特别的抗干扰措施就可以直接在工业环境中使用。但随着工业规模的不断扩大、自动化程度的加深和在强电磁场、强腐蚀、高粉尘、高低温剧烈变化等恶劣环境下应用 PLC 的广泛性,以及用户对 PLC 控制系统运行可靠性要求的进一步提高。都要求我们必须对 PLC 控制系统的抗电磁干扰、安装运行环境、冗余设计和软件抗干扰等做进一步的研究。因此,探讨 PLC 控制系统的可靠性设计具有十分重要的现实意义。

一、PLC 控制系统中漏电流和冲击电流的处理

1. 漏电流的处理

(1) 输入漏电流及处理 当使用双线式传感器,例如光电传感器、接近开关或带氖灯的限位开关等作为输入装置与 PLC 连接时,由于这些元件在关断时有较大的漏电流,会引起输入信号错误接通。使用时注意,漏电流小于 1.3mA 时一般没有问题;如果大于 1.3mA,为防止信号错误接通的

发生,可在 PLC 的相应输入端并联一个泻放电阻,以降低输入阻抗,减少漏电流的影响。如图 1。

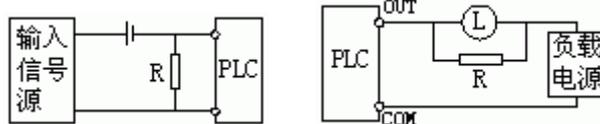


图 1 输入漏电流的处理 图 2 输出漏电流的处理
泻放电阻的阻值和功率,可按下式计算:

$$R \leq \frac{17.15}{3.43I - 5} K\Omega \quad w \geq \frac{2.3}{R} W$$

式中: I—设备的漏电流, mA; R—泻放电阻值, K Ω ; W—泻放电阻的功率, W。

(2) 输出漏电流及处理 对晶体管或可控硅输出型 PLC,其输出接上负载后,由于输出漏电流会造成设备的误动作。为了防止这种情况,可在输出负载两端并联旁路电阻,如图 2。

旁路电阻的电阻值,可由下式确定:

$$R < \frac{U_{ON}}{I} \quad \text{式中: } U_{ON} \text{—负载开启电压,}$$

V; R—旁路电阻, K Ω ; I—输出漏电流, mA。

一般漏电流 I 的大小: 晶体管输出 (DC 24V), 为 0.1mA; 可控硅输出, AC 100V 为 2mA; AC 200V 为 5mA。

2. 冲击电流的处理 PLC 内晶体管或双向可控硅 (双向晶闸管) 输出单元,一般能够承受 10 倍自身额定电流的浪涌电流。若连接象白炽灯等冲击电流大的负载时,必须考虑输出晶体管和双向可控

硅安全性。使用反复通断电动机等冲击电流大的负载时，负载的冲击电流应小于冲击电流耐量值的 50%。晶体管、可控硅输出的冲击电流耐量值曲线，如图 3。

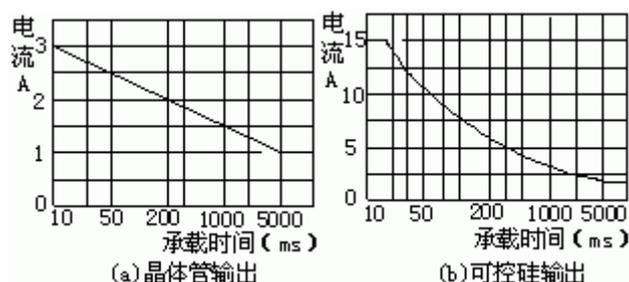


图 3 冲击电流耐量值

抑制冲击电流的措施有以下两种，如图 4 所示：

- (1) 串联法 在负载回路中串入限流电阻 R，如图 4 (a)。但这样会降低负载的工作电流。
- (2) 并联法 允许平时有少量电流(约额定电流的 1/3)经电源及电阻 R 流过负载，从而限制启动电流的冲击幅度。如图 4 (b)。

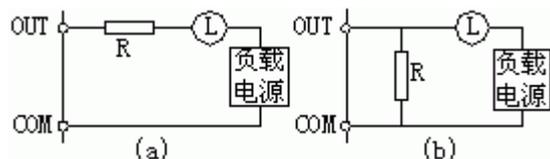


图 4 抑制冲击电流的接线

二、PLC 控制系统的电磁兼容性设计

一般 PLC 工作于环境条件比较恶劣的工业现场，直接与检测设备和被控对象相连。所以，现场的各种电磁干扰对它的正常运行会造成很大的影响，甚至引起误动作造成重大的经济损失和人员伤亡。因此，为了使控制器稳定的工作，提高控制系统的可靠性，在 PLC 控制系统设计中，采取一些相应的抗干扰措施是极为重要的一个环节。

1. 输入输出通道的抗干扰设计

首先选用 I/O 模块时应考虑到：绝缘的输入输出信号和内部回路比非绝缘的抗干扰性能好；无触点输出比有触点输出产生的干扰小；输入模块允许的输入信号 ON-OFF 电压差大，抗干扰性能好，OFF 电压高，对抗感应电压有利等方面。因此，从抗干扰的角度考虑，在干扰大的场合和安装在控制对象侧的 I/O 模块，使用绝缘型的 I/O 模块较好。

(1) 电感特性分析 电感 L 两端的电压 V 可用下

$$\text{式表示: } V = -L \frac{di}{dt}$$

上式表明：如果流过电感 L 的电流突然变化，就会在电感 L 两端产生很大的瞬态电压。一般当流过电感的电流突然中断时，电感上感应的电压为电源电压的 20~200 倍。这些在电感中存储的

能量大部分会以火花放电的形式损耗掉，对触点和元器件等有严重损伤，而且也是辐射噪声和传导噪声的来源之一。所以，必须对含有电感性负载的电路进行保护。下面具体分析，当 PLC 的输入或输出接有感性负载时，所应采取的措施。

(2) 输入信号的抗干扰设计 输入端有感性负载时，为了防止反电动势损坏模块，在交流信号输入负载两端并联 RC 浪涌吸收器或压敏电阻 RV；在直流信号负载两端并联续流二极管 VD 或压敏电阻 RV 或稳压二极管 VS 或 RC 浪涌吸收器等。

① 交流信号输入时，如图 5(a) 所示，R、C 的选择要适当，一般参考数值为：负载容量在 10VA 以下时，选用 120Ω、0.1μF；负载容量在 10VA 以上时选用 47Ω、0.47μF。如用压敏电阻，则其额定电压应大于 1.3 倍的电源峰值电压。

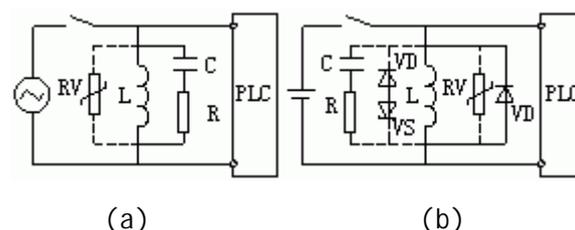


图 5 输入信号的抗干扰措施

② 直流信号输入时，如图 5(b) 所示，二极管的额定电压应大于电源电压的 3 倍，额定电流应不小于 1A。如用压敏电阻，则其额定电压应大于 1.3 倍的电源电压。如用稳压二极管，则其电压、电流应大于电源电压和负载电流。

如果与输入信号并联的感性负载大时，最好使用继电器中转。

(3) 输出信号的抗干扰设计

在输出为感性负载的场合，如电磁接触器等触点的开合会产生电弧和反电动势。从而对输出信号产生干扰。抑制输出信号干扰的措施为：

① 交流感性负载的场合，在负载两端并联 RC 浪涌吸收器或压敏电阻。如果是交流 100、220V 电压、而功率为 400VA 左右时，RC 浪涌吸收器的 R、C 值分别为 47Ω、0.47μF，如图 6 (a)。RC 愈靠近负载，其抗干扰效果愈好。如用压敏电阻，其额定电压应大于 1.3 倍的电源峰值电压。

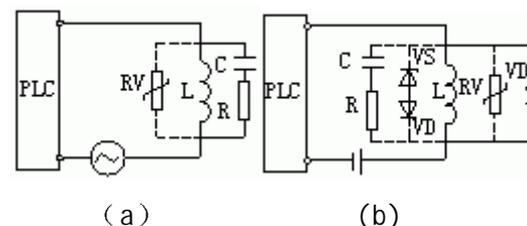


图 6 输出信号的抗干扰措施

② 直流负载的场合，在负载两端并联续流二极管 VD 或压敏电阻或稳压二极管 VS 或 RC 浪涌吸收

器等，如图 6 (b)。二极管要靠近负载，二极管的反向耐压应是负载电压的 4 倍以上。如用压敏电阻，则其额定电压应大于 1.3 倍的电源电压。如用稳压二极管，则其电压、电流应大于电源电压和负载电流。

注意上述感性负载浪涌电压抑制措施都会使负载断开动作延迟。

③控制器触点（开关量）输出的场合，不管控制器本身有无抗干扰措施，都应采用图 7 所示的抗干扰措施。

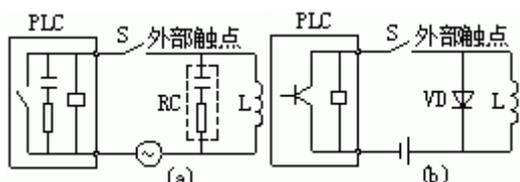


图 7 外部触点输出时抗干扰措施

④开关时产生干扰较大的场合，对于交流负载可使用双向晶体管输出模块。

⑤交流接触器的触点在开、闭时产生电弧干扰，可在触点两端并联 RC 浪涌吸收器，效果较好，要注意的是触点断开时，通过 RC 浪涌吸收器会有一些的漏电流产生。大容量负载如电动机或变压器开关干扰时，可在线间采用 RC 浪涌吸收器。如图 8，所示。

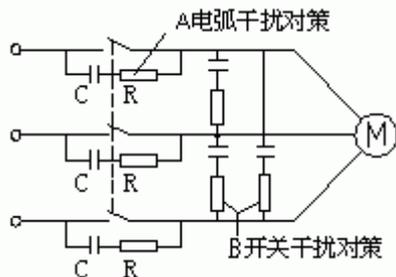


图 8

⑥可用中间继电器进行中间驱动负载。

(4) 抑制感应电动势的措施

一般感应电动势是通过输入信号线间的寄生电容、输入信号线与其它线间的寄生电容和与其它线，特别是大电流线的电耦合所产生的。抑制感应电动势干扰有如图 9 的三种措施。

图 9 (a) 为输入电压的直流化。在感应电压大的场合，尽量改交流输入为直流输入。

图 9 (b) 为在输入端并联 RC 浪涌吸收器。

图 9 (c) 为在长距离配线和大电流的场合，感应电压大，可用继电器转换。

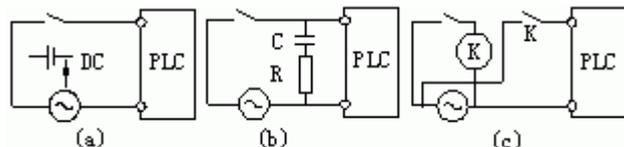


图 9 抑制输入感应电动势的措施

2. 电源的抗干扰设计

(1) 使用隔离变压器 使用隔离变压器将屏蔽层良好接地，对抑制电网与大地中的噪声，加强抗干扰有较好的效果。如果没有隔离变压器，不妨使用普通变压器。为了改善隔离变压器的抗干扰效果，必须注意两点：屏蔽层要良好接地；二次侧连接线要使用双绞线。

(2) 使用滤波器 使用滤波器代替隔离变压器，在一定的频率范围内也有一定的抗电网干扰作用，但要选择好滤波器的频率范围较困难。为此，常用方法是既使用滤波器，同时又使用隔离变压器。注意隔离变压器的一次侧和二次侧连接线要用双绞线，且一、二次侧要分隔开。连接方法，如图 10。



图 10 滤波器和隔离变压器的接线

(3) 采用分离供电系统

应将 PLC、I/O 通道和其它设备的供电分离开来，以抑制电网的干扰（后有详述）。

3. 采用光电耦合器

为了抑制外部噪声对 PLC 控制系统的干扰，在 PLC 控制系统中引入光耦合器是行之有效的。光电耦合器由输入端的发光元件和输出端的受光元件组成，利用光传递信息，使输入与输出在电气上完全隔离。其体积小、使用简便，视现场干扰情况的不同，可组成各种不同的抑制干扰线路。

(1) 用于输入输出的隔离

光电耦合器用在输入、输出的隔离，线路简单，由于避免形成地环路，而输入与输出的接地点也可以任意选择。这种隔离的作用不仅可以用在数字电路中，也可以用在模拟电路中。

(2) 用于减少噪声与消除干扰

光电耦合器用于抑制噪声是从两个方面体现的：一方面是使输入端的噪声不传递给输出端，只把有用信号传送到输出端。另一方面，由于输入端到输出端的信号传递是利用光来实现的，极间电容很小，绝缘电阻很大，因而输出端的信号与噪声也不会反馈到输入端。

使用光电耦合器时，注意频率不能太高；用于低电压时，其传输距离以 100 米以内为宜。

4. 外部配线设计

(1) 使用多芯信号电缆时，要避免 I/O 线和其它控制线共用同一电缆；

(2) 如果各接线架是平行的，则各接线架之间至少相隔 300mm；

- (3)当控制系统要求 400V, 10A 或 220V、20A 的电源容量时, I/O 线与电源线的间距不能小于 300mm; 若和设备连接点外, I/O 线与电源线不可避免地敷设在同一电缆沟内时, 则必须用接地的金属板将它们相互屏蔽, 接地电阻要小于 $100\ \Omega$;
- (4)大型 PLC 的 CPU 机架和扩展机架可以水平安装或垂直安装。如果垂直安装, CPU 机架的位置要在扩展机架的上面; 当水平安装时, CPU 机架的位置要在左边, 且走线槽不应从二者之间穿过。CPU 机架和扩展机架之间及各扩展机架之间要留有 70~120mm 的距离, 以便于走线和冷却;
- (5)交流输入输出信号与直流输入输出信号分别使用各自的电缆;
- (6)30m 以上的长距离配线时, 输入信号与输出信号分别使用各自的电缆;
- (7)集成电路或晶体管设备的输入、输出信号线, 必须使用屏蔽电缆, 屏蔽电缆的处理如图 11, 屏蔽层在输入、输出侧悬空, 而在控制侧接地;

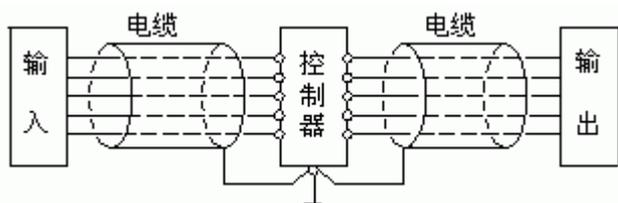


图 11 屏蔽电缆的接线

- (8)模拟量 I/O 信号线较长时, 应采用不易受干扰的 4~20mA 电流信号传输方式;
- (9)模拟量信号线和数字传输线分开布线, 并分别采用屏蔽线, 屏蔽层接地;
- (10)远距离配线有干扰或敷设电缆有困难时, 应采用远程 I/O 的控制系统;
- (11)配线距离要求:
 - ①30m 以下的短距离配线, 直流和交流输入输出信号不要使用同一电缆。在不得不使用同一配线管时, 直流输入输出信号线要使用屏蔽线, 屏蔽层接地;
 - ②30~300m 的中距离配线, 不管直流还是交流; 输入输出信号都不能使用同一根电缆, 输入信号线一定要屏蔽;
 - ③300m 以上的长距离配线, 建议用中间继电器转换信号, 或使用远程 I/O 通道。
- (12)双绞线的使用:

由于双绞线在 PLC 控制系统中大量运用, 现将它的使用作简要分析。

双绞线又称双股胶合线, 用于双线传输通道中, 其中一根传送信号或供电, 另一根作为返回通道。采用双绞线的目的是使其相邻两“扭节”的感应电动势大小相等、方向相反, 使得总的感

应电动势为零。双绞线单位长度内的绞合次数越多抗干扰效果越好。

使用双绞线时, 应注意两点: 第一, 双绞线应尽量采用图 12 (a) 所示的接地方式 (一端接地); 图 12(b) 的接地方式 (两端接地), 因有地环路存在, 会削弱双绞线的抗干扰效果, 应避免使用。第二, 两组扭节节距相等的双绞线不能平行敷设。否则, 它们相互之间的磁耦合并不能减弱, 如图 12 (c) 所示, 它们的感应电流会同相迭加; 所以, 应采用图 12 (d) 所示的双绞线的扭节节距不等的配线。

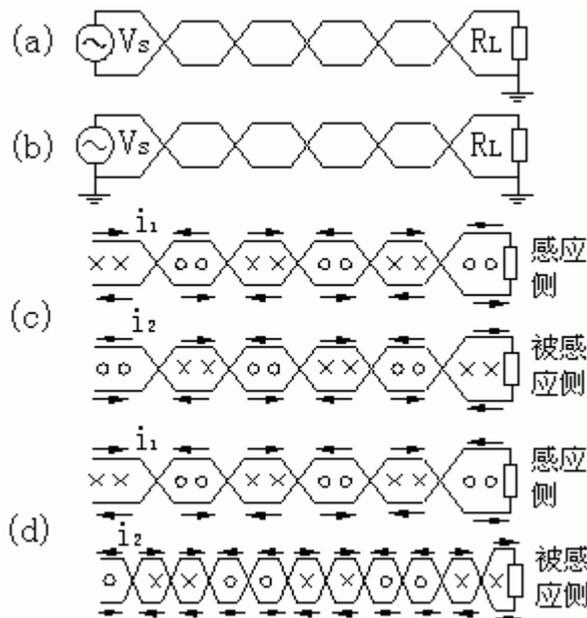


图 12 双绞线用法分析图

注意: 在双绞线的最尽头两端, 仍要保持扭绞形状, 否则影响干扰效果。屏蔽双绞线具有双重抗干扰性能, 屏蔽层对外来的干扰电场具有防护作用; 双绞线对外来的干扰磁场具有消除作用。在使用屏蔽线时, 屏蔽层应良好接地、信号返回线只在一端接地。信号线中间有接头时, 屏蔽层应牢固连接并进行绝缘处理, 避免多点接地。屏蔽层不接地, 会产生寄生耦合作用, 由于屏蔽层的面积较大, 增大了寄生耦合电容, 使得这种干扰比不带屏蔽层的导线产生的干扰还严重。

三、PLC 控制系统的接地设计

接地技术, 它起源于强电技术。对于强电, 由于电压高、功率大, 容易危及人身安全。为此, 需要把电网的零线和各种电气设备的外壳通过导线接地, 使之与大地等电位, 以保人身安全。电子设备的接地是抑制干扰的需要。良好正确的接地可以消除或降低各种形式的干扰, 从而保证电子设备或控制系统可靠稳定的工作。但不合理或不良的接地将会使电子设备或控制系统受到干扰, 破坏系统正常运行。所以, 接地可分为两大

类：安全接地和信号接地。安全接地通常与大地等电位，而信号接地却不一定与大地等电位。在很多情况下，安全接地点不适合用做信号接地点，因为这样会使噪声问题更加复杂化。

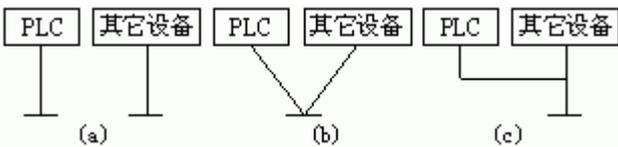
接地电阻是指接地电流经接地体注入大地时，在土壤中以电流场形式向远处扩散时所遇到的土壤电阻。它属于分布电阻，由接地导线的电阻、接地体的电阻和大地的杂散电阻三部分组成。接地体的电阻应小于 2Ω ，常用的接地体有铜板、金属棒、镀锌圆钢等。一般接地装置的接地电阻不宜超过 10Ω 。

1. PLC 控制系统接地的意义

PLC 控制系统良好的接地可以减少 PLC、控制柜盘与大地之间电位差引起的噪声；可以抑制混入电源和输入/输出信号线的干扰；可以防止由漏电流产生的感应电压等。由此可见，良好的接地可以有效的防止系统干扰误动作，提高系统的工作可靠性。

2. 接地方法

控制系统的接地，如图 13 所示。其中，图 13 (a) 为控制系统和其它设备独立接地，这种接地方式最好。如果做不到每个设备独立接地，可使用图 13 (b) 中的并联接地方式。但不允许使用图 13 (c) 中的串联接地方式，特别是应避免与电动机、变压器等动力设备串联接地。



(a) 独立接地 (b) 并联接地 (c) 串联接地

图 13 系统接地方法

接地时还应注意：

- ① 接地线应尽量短，且截面积大于 2mm^2 ，接地电阻小于 10Ω 为宜；
- ② 接地点应尽量靠近 PLC，接地线的长度应在 20m 以内为宜；
- ③ 控制器的接地线与电源线或动力线分开，不能避开时应垂直交叉；
- ④ LG 端是噪声滤波器中性端子，通常不要求接地，但是，当电气干扰严重时或为了防止电击，应将 LG 端与 GR 端短接后接地。

四、PLC 控制系统的软件抗干扰设计

在 PLC 控制系统中，除采用硬件措施提高系统的抗干扰能力外。在软件设计中，还可以采用数字滤波和软件容错等重要的经济有效方法，进一步提高系统的可靠性。

1. 数字滤波

对于较低信噪比的模拟信号，常因现场瞬时

干扰而产生较大波动，若直接使用这些瞬时采样值进行计算控制，则给系统的可靠运行带来隐患。为此，在软件设计方面常常采用数字滤波技术。现场的模拟量信号经 A/D 转换后变为离散的数字量信号，然后将这些数据存入 PLC 中。利用数字滤波程序对其进行处理，滤去噪声信号获得所需的有用信号，进行系统控制。其原理如图 14。工程上的数字滤波方法很多。如平均值滤波法、中间值滤波法、惯性滤波法等。



图 14 数字滤波过程

(1) 平均值滤波法

平均值滤波法包括算术平均值滤波法和加权平均滤波法两种。它适用于一般的随机干扰信号的滤波。采样次数越多，滤波效果越明显，但考虑到采用时间及系统控制的需要，采样次数应根据系统而定。下面介绍简单使用的平均值滤波法——平移式平均值法。其基本原理为：

若要采样 N 次，则用这 N 次采样值的平均值代替当前值。每一次的采样值与前 $N-1$ 次的采样值进行算术平均运算，结果作为本次采样的滤波值。这样每个扫描周期只需采样一次而都要取 $N-1$ 个采样值（1 个当前值， $N-1$ 个历史值）来计算滤波值。每采样一次，采样值向前平移一次，为下次滤波做准备。平移式平均值滤波法程序框图，如图 15。

(2) 中间值滤波法

该方法的原理是：在某一采样周期的 k 次采样值中，除去最大值和最小值，将剩余的 $k-2$ 个采样值进行算术平均，并将结果作为滤波值。该方法需对采样值进行排序或比较，找出最大值和最小值，然后求算术平均值。此方法对消除脉冲干扰和小的随机干扰很有效。数学表达式为：设有 k 个采样值存在下列关系：

$$y_1(kT) \leq y_2(kT) \leq \dots \leq y_{k-1}(kT) \leq y_k(kT)$$

则滤波值为：
$$y(kT) = \sum_{i=2}^{k-1} y_i(kT) / (k-2)$$

(3) 惯性滤波法

原理为：按着当前采样值与历史值的可信程度来分配其在滤波值中所占的比例。若当前采样值的可信度大，则可在滤波值中占的比例高，否则占的比例小。此方法适用于信号变化较缓慢且有较大干扰的场合。数学表达式为：

$$y(kT) = (1-\alpha)y(kT-T) + \alpha y(kT)$$

式中： $y(kT)$ —第 k 个采样周期的采样值；

$\bar{y}(kT)$ —第 k 个采样周期的滤波结果； α —为惯性系数， $\alpha = \text{采样周期 } T_s / \text{滤波时间常数 } T_f$ 。

惯性滤波法的 PLC (OMRON) 程序如图 16, 变量分配表, 见表 1。

表 1 惯性滤波法程序变量分配表

内存地址	变量名称或作用	内存地址	变量名称或作用
HR01	惯性系数 $\alpha \times 1000$	HR41	暂存单元
HR04	当前采样值	HR42	暂存单元
HR05	滤波结果	HR43	暂存单元
IR03000	采样时间到标志	HR44	暂存单元
IR03001	跳转结束标志		

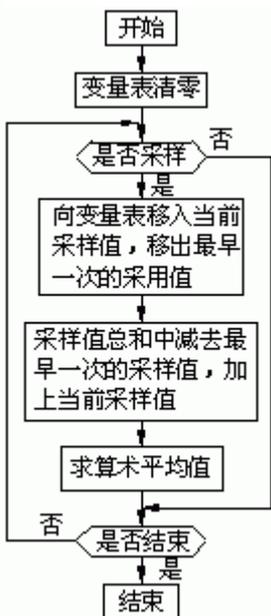
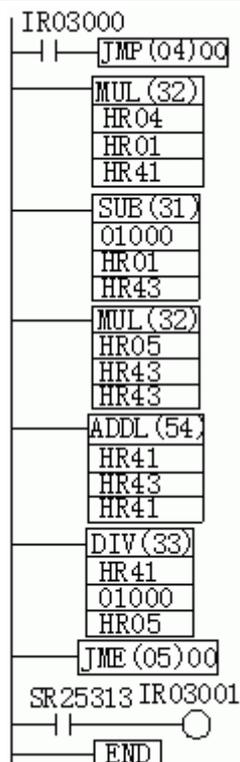


图 16 惯性滤波程序 图 15 平移式平均值滤波

2. 软件容错

为了提高系统运行可靠性, 使 PLC 在信号出错时能及时发现, 并排除错误的影响而继续工作, 在程序编制中还应采取软件容错技术。

①程序复执技术 在程序执行过程中, 一旦发现现场故障或错误, 就重新执行被干扰的先行指令若干次。若复执成功, 说明为干扰, 否则输出软件失败 (Fault) 或报警。

②对死循环作处理 死循环主要通过程序判断

出是由主要故障造成的还是由次要故障造成的, 然后分别做出停机和相应子程序处理;

③软件延时 对重要的开关量输入信号或易形成抖动的检测或控制回路, 可采用软件延时 20ms, 对同一信号多次读取, 结果一致, 才确认有效, 这样可消除偶发干扰的影响。

3. 故障检测

PLC 本身的可靠性和可维修性是非常高的。在 CPU 监控程序或操作系统中有较完整的自诊断程序, 出现故障很快就能发现和解决。然而, PLC 外接的输入、输出元器件如限位开关、电磁阀、接触器等引起的故障就显得非常突出。如限位开关故障造成的机械顶死、接触器主触点“烧死”造成线圈断电后电机运转不停等。又因为元件出现故障时 PLC 不会自动停机, 所以常常造成严重后果后, 才会被发现。这时往往会造成较大的经济损失, 而查找故障原因也费时费力。为了避免上述情况的发生, 可通过软件程序设计, 加强 PLC 控制系统故障检测的范围和能力, 以提高整个系统的可靠性。常用的方法有以下两种:

(1) 时限故障检测

由于生产工艺、系统的要求, 任何设备、器件都是在一定的时间内运行, 完成特定的动作内容。因此, 可以利用运行时间作为参考值, 在设备、器件运行开始的同时, 启动一个计时器, 计时器的时间设定值一般是正常运行情况的 1.2~1.3 倍。如果设备运行的时间超过计时器设定时间, 则进行报警或自动停机等, 使故障能及时发现和处理。

(2) 逻辑错误检测

在设备正常运转时, 控制系统的各个输入、输出信号、中间记忆装置等, 相互之间存在着确定的逻辑关系。一旦设备出现故障, 就会出现异常的逻辑关系。因此, 可以在程序设计时, 加入系统常见故障的异常逻辑关系程序, 一旦异常逻辑关系程序被执行, 就表示相应的设备故障, 即可实现报警、停机等控制措施。

五、安装及环境条件设计

1. 控制柜、箱体的设计

(1)进行控制柜、箱体设计时, 必须考虑柜、箱体内电气器件的温升变化, 可根据下式求得, 并由此, 确定柜、箱体的结构尺寸:

$$\Delta t = P / (K_1 S + K_2 V)$$

式中: Δt —温升, $^{\circ}\text{C}$; P —装设的器件产生的总损耗, W ; K_1 —约为 6 (由柜体结构、材料决定的系数); K_2 —约为 20 (由空气比热决定的系数); V —配电柜的体积, m^3 ; S —柜体散热面积, m^2 。

(2)为了利用气流加强散热, 可开设通风孔。通

风孔位置要对准发热元件，且进风口的位置要低于出风口的位置。通风孔的形式可采用冲制式、百叶窗式等。通风孔的散热能力，可有以下式计算：

$$Q=7.4 \times 10^{-5} HS_0(t_2-t_1)^{3/2}$$

式中：Q—通风孔自然散热的热量，W；H—柜、箱体的高度，cm； S_0 —进、出风孔面积的较小者， cm^2 ； t_2 —柜、箱体的内部空气温度， $^{\circ}C$ ； t_1 —柜、箱体的外部温度， $^{\circ}C$ 。

(3)当柜、箱体内环境温度过高时，而柜、箱体的结构尺寸又不易改变时，应设置换气装置，如排风扇等。所需换气量，可由下式计算：

$$V=Q/[C_p P(T_f - T_0)]$$

式中：V—所需换气量， m^3/min ；Q—柜内产生的热量， J/min ； T_0 —柜外最高温度， $^{\circ}C$ ； T_f —柜内的目标温度， $^{\circ}C$ ； C_p —在 T_0 时空气的定压比热（在压力 0.1Mpa、0~100 $^{\circ}C$ 时， C_p 为 0.24）， $J/kg \cdot ^{\circ}C$ ；P—在 T_0 时空气的比重，（20 $^{\circ}C$ 时为 1.2）， kg/m^3 。

2. PLC 的安装注意事项

在柜、箱内安装 PLC 时，要充分考虑抗干扰性、便操作性、易维护性、耐环境性等问题。注意以下事项：不要在装有高压部件的控制柜内安装 PLC；离开动力线 200mm 以上；PLC 与安装面之间的安装板要接地；各单元通风口向上安装，使通风散热良好，空间要充分，PLC 上下要留 50mm 的空间；避免把 PLC 放在热量大的装置（如加热器、变压器、大功率电阻等）或其它会辐射大量热能的设备正上方。

3. 环境条件的影响分析

每种 PLC 都有自己的环境技术条件，用户在选择时，特别是在设计控制系统时，对环境条件要给予充分的考虑。

(1) 温度的影响

PLC 及其外部电路都是由半导体集成电路（IC）、晶体管 and 电阻、电容等元器件构成的，温度的变化将直接影响这些元器件的可靠性和寿命。如温度每升高 10 $^{\circ}C$ ，电阻值会增加 1%，而电容的寿命会降低一半。相反，如果温度偏低，模拟回路精度将降低，回路的安全系数变小等。特别在温度的急剧变化时，会导致电子器件热胀冷缩或结露，引起电子器件的特性恶化。因此，温度高于 55 $^{\circ}C$ 时，必须设置风扇或冷风机等，进行降温；如果温度过低，则应设置加热器等。

(2) 湿度影响

湿度过大的环境中，可使金属表面生锈，引起内部元件的恶化，印制电路板会由于高压和高浪涌电压而引起短路。极干燥的环境下，绝缘物体上可能带静电，特别是 MOS 集成电路，会于静

电感应而损坏。如环境湿度过大，应把控制柜、箱设计成密封型，并放入吸湿剂，如硅胶等。

(3) 振动和冲击的影响

一般 PLC 能耐的振动和冲击频率为 10~55Hz，振动加速度应限制在 5m/s² 以内。超过极限时，可能会引起电磁阀或接触器的误动作、机械结构松动、电气部件疲劳损坏以及连接器的接触不良等后果。

(4) 周围空气的影响

周围空气中不能有尘埃、导电性粉末、腐蚀性气体、水分、有机溶剂和盐分等。否则会引起不良后果，如尘埃可引起接触部分的接触不良，导电性粉末可引起绝缘性能变差、短路等。

六、控制系统的冗余设计

对于象核电站、化工厂、发电站、高温高压炉的控制等场合，要求 PLC 控制系统具有极高的可靠性和安全性，采用冗余技术是提高系统可靠性的有效途径。PLC 控制系统的冗余设计包括以下几个方面：

1. 环境条件

改善环境条件的目的在于使 PLC 工作在最佳的环境条件下。如温度，虽然 PLC 能在 60 $^{\circ}C$ 高温下工作，但为了保证高可靠性和寿命，环境温度最好控制在 40 $^{\circ}C$ 以下，即留有 1/3 以上的裕量。

2. PLC 的并列运行

输入/输出分别连接到控制内容完全相同的两台 PLC 上，实现复用。当某一台 PLC 出现故障时，由主 PLC 或人为切换到另一台 PLC，使系统继续工作。从而保证系统运行的可靠性。如图 17。

当 1 号机的 X_0 闭合时，1 号机执行控制任务。如果 1 号机出现故障，就切换到 2 号机，这时 2 号机的 X_0 闭合，由 2 号机执行控制任务。

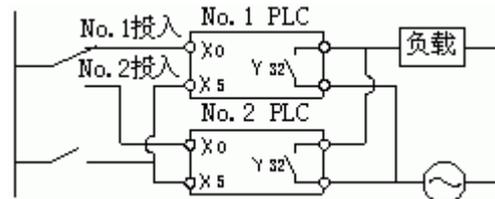


图 17 PLC 的并列运行方式

必须指出的是，PLC 并列运行方案仅使用于输入/输出点数比较少，部线容易的小规模控制系统。对大规模控制系统，由于输入/输出点数多，电缆配线复杂，同时控制系统成本相应增加（几乎是成倍增加），因而限制了它的应用。

3. 双机双工热/后备控制系统

双机双工热/后备控制系统是两个完全相同的 CPU 同时参与运算的模式。一个 CPU 进行控制，另一个 CPU 虽然参与运算但处于后备状态。这种

冗余系统的典型产品有 OMRON 公司的 C2000H、CVM1D，三菱公司的 Q4ARCPU 等。三菱公司的 QnA 系列的 Q4ARCPU 系统是专门对要求冗余和扩展处理控制而设计的系统。最为典型的配置结构是采用双 CPU 系统与双电源系统两类冗余，如图 18 所示，(a) 双 CPU 系统 (b) 双电源系统。

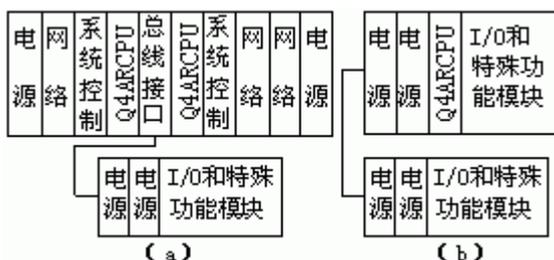


图 18 双机双工热/后备控制系统

Q4ARCPU 的双 CPU 系统给出了 PLC 的热/备用操作。当热 CPU 处于正常条件时，所有 I/O 模块都由热 CPU 控制。在此期间，备用 CPU 不执行它的程序，但是复制热 CPU 的内部设备数据即数据跟踪。一旦热 CPU 出现异常，备用 CPU 就根据数据跟踪得到的最新数据立即接管系统的控制功能，以保证系统的正常运行。出现故障的 CPU 模块则可卸下维修或更换，而不影响系统的运行。

4. 表决式冗余系统

表决式冗余系统原理图，如图 19 所示。在该系统中，3 个 CPU 同时接受外部数据的输入，而对外部输出的控制，则由 2/3 表决模块依据 3 个 CPU 的并行输出状态表决决定。这种系统的典型产品为三菱公司的 A3VTS 系统。

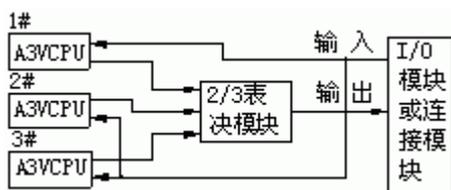


图 19 A3VTS 冗余系统原理图

5. 与继电器控制盘并用

在旧系统改造的场合，原有的继电器控制盘最好不要拆除，保留原来功能，以作为后备系统使用。对新建项目就不必采用此方案。因为小规模控制系统中的 PLC 造价可做到和继电器控制盘相当，因此以采用 PLC 并列运行方案为好。对于中、大规模的控制盘，由于继电器控制盘比较复杂且可靠性低，这时采用双机双工热/后备控制系统方案为好。

6. 网络冗余

采用冗余技术可以提高系统的工作可靠性，同样利用冗余技术也可以提高网络工作的可靠性。如三菱公司的 PLC 就具备网络冗余功能。三菱公司的 MELSECNET 总线系统可以通过选择附加

网络模块和相应的电缆构成双总线系统，大大提高了网络工作的可靠性。

七、控制系统的供电设计

供电系统的设计直接影响到控制系统的可靠性，因此在设计供电系统时应考虑下列因素：电源系统的抗干扰性；失电时，不破坏 PLC 程序和数据；控制系统不允许断电的场合，供电电源的冗余等。考虑到上述对电源的要求，在进行供电系统设计中主要可以采用下述几种方案。

1. 采用隔离变压器的供电系统

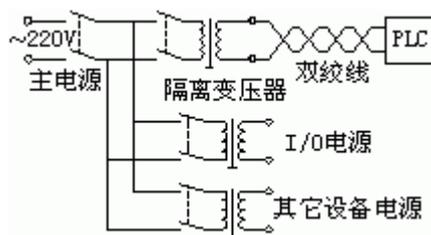


图 20 采用隔离变压器的供电系统

PLC 与 I/O 及其它设备分别用各自的隔离变压器供电，并与主回路电源分开，以降低电网与大地的噪声。如图 20 所示。这样当输入输出回路失电时，不会影响 PLC 的供电。应该注意的是，各个变压器的二次绕组的屏蔽层接地点应分别接入各绕组电路的地。最后再根据系统的需要，选择必要而合适的公共接地点接地，以达到最佳的屏蔽效果。为 PLC 供电的绝缘变压器的副边采用非接地方式，双绞线截面大于 2mm^2 为宜。

2. 采用 UPS 的供电系统

不间断电源 UPS 是计算机的有效保护装置，平时处于充电状态，当输入电源失电时，UPS 能自动切换到输出状态，继续向系统供电。根据 UPS 的容量不同，在电源掉电之后，可继续向 PLC 供电 $10\sim 30\text{min}$ ，因此对于重要的 PLC 控制系统，在供电系统中配置 UPS 是十分有效和必要的。图 21 是使用 UPS 的供电示意图。

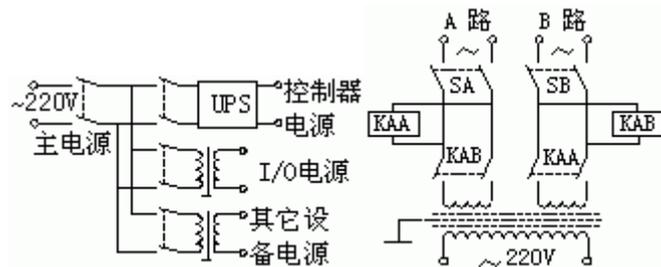


图 21 UPS 供电系统 图 22 双路供电系统

3. 双路供电系统

在重要的 PLC 控制系统中，为了提高系统工作的可靠性，如条件允许，供电系统的交流侧可采用双电源系统。双路电源最好引自不同的变电站，当一路电源出现故障时，可自动切换到另一路电源供电。图 22 为其示意图。

图中，KAA、KAB 是欠电压继电器保护控制回路。假设先合上开关 SA，令 A 路供电，则由于 B 路 KAA 没有吸合，继电器 KAB 处于失电状态，因此其常开触点 KAB 闭合，完成 A 路供电控制。然后合上 SB 开关，这样 B 路处于备用状态。一旦 A 路电压降低到规定值时，欠电压保护继电器 KAA 动作，其常开触点闭合，使 B 路开始供电，同时 KAB 触点断开。由 B 路切换到 A 路供电的工作原理与此相同。

八、静电预防

在我们生活的周围环境和身体上都带有不同程度的静电，当静电积累到一定程度就会发生放电。静电对电子元件的影响主要表现在：吸附尘埃降低绝缘；放电产生焦耳热效应；电磁场干扰等，造成电子元器件的损坏。仅美国每年因静电对电子工业造成的损失就高达几百亿美元。又由于静电对电子产品的损害具有隐蔽性、潜在性、随机性和复杂性等，所以必须给予重视。

人体静电是引起静电危险或静电损坏的最主要和最常见的因素。由于，人体不会感受到 35000V 以下电压产生的放电，而大多数电子器件对数百伏电压产生的放电都会非常敏感。人们在干燥的环境中活动所产生的静电可达几千伏到几万伏。所以，电子元器件的损坏往往来自于人们没有察觉到的放电或静电辐射。特别，在湿度低、极干燥的场合，人体不要接触 PLC 的模块等组件，以防静电损坏元器件；或先泻放静电再接触模块。

对设备而言，容易产生静电放电的部位是：电缆、暴露在外的金属框架等，要使之良好接地。设备电缆的屏蔽层与设备金属外壳要良好连接，静电接地电阻应不大于 $10^6 \Omega$ 。但接地不能防止静电的产生，也不能排除绝缘体上的静电。保持适当的湿度（65%左右）是防止静电的好方法，在干燥的场合和容易产生静电的地方，应采用抗静电剂、防静电透明乳胶漆或静电消除器等。

九、结束语

由于 PLC 广泛用于工业控制。所以，PLC 控制系统的可靠性设计是一项十分复杂的工程技术。在控制系统的可靠性设计中只有综合考虑各方面的因素，特别是形形色色的干扰，才能使系统高效稳定的运行。当然，对不同的 PLC 控制系统还要具体情况具体分析，才能获得最佳效果。本文只是就常见的现场安装环境、电磁干扰、冗余设计和软件设计等方面进行了探讨、提出了一些解决办法和注意事项。供从事 PLC 控制系统设计及应用的人员参考。

参考文献：

- 1.陈在平 赵相宾 主编.可编程序控制器技术与应用系统设计.北京:机械工业出版社,2002
2. [美]Henry W. Ott 著,王培清 李迪 译.电子系统中噪声的抑制与衰减技术.北京:电子工业出版社,2003
- 3.王卫兵,高俊山等编著.可编程序控制器原理及应用.北京:机械工业出版社,2002
- 4.张晓坤 主编.可编程序控制器原理及应用 .西安:西北工业大学出版社,1998