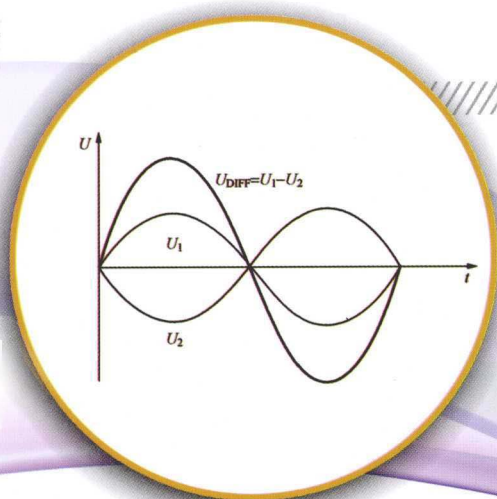


ZIDONGHUA KONGZHIXITONG
DIANJIJIANRONG SHEJIYUYINGYONG

自动化控制系统

电磁兼容

设计与应用



周志敏 纪爱华 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

自动化控制系统 电磁兼容 设计与应用

周志敏 纪爱华 等 编著



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书以自动化控制系统电磁兼容设计和工程应用为核心内容,系统地介绍了自动化控制系统、自动化控制系统电磁兼容技术、自动化控制系统供电单元的电磁兼容设计、自动化控制系统接地设计、输入/输出回路及布线的电磁兼容设计、自动化控制系统通信网络电磁兼容技术、自动化控制系统软件抗干扰技术。本书在写作上以理论与工程应用相结合的方式,深入浅出地阐述了自动化控制系统设计中经常涉及的自动化控制基础知识和电磁兼容设计方法。

全书文字通俗易懂,重点突出,内容新颖实用,可供从事自动化控制系统设计应用的工程技术人员和高等院校及职业技术学院的师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

自动化控制系统电磁兼容设计与应用/周志敏等编著. —北京:中国电力出版社, 2013. 3

ISBN 978 - 7 - 5123 - 4093 - 0

I. ①自… II. ①周… III. ①自动控制系统-电磁兼容性
IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 032709 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 http: //www. cepp. sgcc. com. cn)

北京市同江印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 6 月第一版 2013 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.125 印张 353 千字

印数 0001—3000 册 定价 32.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版权专有 翻印必究

自动化技术是一项综合性技术，它和控制理论、信息技术、系统工程、计算机技术、电子学、液压气压技术、自动控制等都有着十分密切的关系，而其中又以控制理论和计算机技术对自动化技术的影响最大。自动控制技术自问世以来就引起了国内外控制界的普遍关注，现已成为具有发展前景和影响力的高新技术。

近年来随着工业自动化产业的高速发展，自动化控制系统得以广泛应用。自动化控制产品正向着成套化、系列化、多品种系统集成方向发展。以自动控制技术、数据通信技术、图像显示技术为一体的综合性系统装置成为国内外工业过程控制的主导产品。

目前，自动化控制设备工作的空间电磁环境发生了巨大的变化，在其工作的空间电磁环境中，电磁干扰不再局限于辐射，还要考虑感应、耦合、传导、静电、雷电等引起的电磁干扰，电磁干扰已成为影响自动化控制系统正常工作的突出障碍，因而开展自动化控制系统电磁兼容设计日显重要，也是确保自动化控制系统安全、可靠、稳定运行所必需的环节。

本书结合国内外自动化控制系统工程应用中存在的问题，在简单介绍了自动化控制系统的基础上，系统的介绍了自动化控制系统的电磁兼容性的工程设计与应用技术。本书在编写上尽量做到有针对性和实用性，力求做到通俗易懂和结合实际，使得从事自动化控制系统设计和工程应用的工程技术人员从中获益，读者可以此为“桥梁”，系统的全面了解和掌握自动化控制系统的电磁兼容设计技术和方法。

参加本书编写工作的有周志敏、纪爱华、周纪海、纪达奇、刘建秀、顾发娥、刘淑芬、纪和平、纪达安等，本书在写作过程中，无论从资料的收集还是技术信息交流上都得到了国内的专业学者和同行及自动化系统集成商的大力支持，在此表示衷心的感谢。

由于时间短，水平有限，难免有错误之处，敬请读者批评指正。

目 录

自动化控制系统电磁兼容设计与应用

前言

第 1 章 自动化控制系统	1
1.1 自动化控制系统基础知识	1
1.1.1 自动化及自动化技术	1
1.1.2 控制及自动化控制系统	3
1.1.3 工业自动化控制系统	4
1.2 PLC 控制系统	7
1.2.1 PLC 定义及特点	7
1.2.2 PLC 控制系统构成及控制功能	11
1.3 集散控制系统	15
1.3.1 集散控制系统结构	15
1.3.2 集散系统构成特征	17
1.3.3 DCS 的硬件、软件体系结构	18
1.3.4 DCS 的先进控制技术及发展趋势	20
1.4 现场总线控制系统	23
1.4.1 现场总线技术的实质及意义	23
1.4.2 现场总线的特点与优点	25
1.4.3 现场总线的现状及发展趋势	29
第 2 章 自动化控制系统电磁兼容技术	34
2.1 电磁兼容与电磁干扰	34
2.1.1 电磁兼容技术的发展	34
2.1.2 电磁干扰	37
2.1.3 电磁干扰传播途径	44
2.2 电磁兼容设计	55
2.2.1 电磁兼容设计要点及原则	55
2.2.2 电磁屏蔽设计	61
第 3 章 自动化控制系统供电单元的电磁兼容设计	70
3.1 供电单元的电磁兼容性	70
3.1.1 供电单元的系统方案	70
3.1.2 供电单元的抗雷电干扰技术	73
3.1.3 供电单元的浪涌抑制技术	76
3.2 自动化控制系统电源抗干扰解决方案	87
3.2.1 自动化控制系统电源干扰源	87
3.2.2 自动化控制系统电源抗干扰技术	88

3.2.3	PLC 供电电源解决方案	104
3.2.4	自动化控制系统供电的 UPS 解决方案	106
第 4 章	自动化控制系统接地设计	111
4.1	地线与接地技术	111
4.1.1	地线的定义与接地目的	111
4.1.2	地线阻抗干扰	115
4.2	接地的分类与接地方式	118
4.2.1	接地的分类	118
4.2.2	信号接地方式	124
4.3	接地系统设计	129
4.3.1	接地系统设计准则	129
4.3.2	接地电阻及接地网形式	135
4.3.3	接地材料	137
第 5 章	输入/输出回路及布线的电磁兼容设计	140
5.1	隔离技术在输入/输出回路中的应用	140
5.1.1	隔离技术	140
5.1.2	输入/输出回路的隔离设计	144
5.2	自动化控制系统布线及抗干扰设计	147
5.2.1	自动化控制系统信号传输线	147
5.2.2	自动化控制系统布线抗干扰设计	149
5.2.3	PLC 控制系统输入/输出及布线抗干扰设计	154
第 6 章	自动化控制系统通信网络电磁兼容技术	160
6.1	RS-232 通信接口抗干扰技术	160
6.1.1	RS-232 通信接口	160
6.1.2	RS-232 隔离长线驱动器	162
6.1.3	RS-232C 通信接口的抗干扰措施	163
6.1.4	基于 RS-232 协议的 CAN 总线网络	166
6.2	RS-485 通信接口的抗干扰技术	169
6.2.1	RS-485 通信接口	169
6.2.2	RS-485 通信抗干扰应用案例	179
第 7 章	自动化控制系统软件抗干扰技术	183
7.1	软件结构特点及抗干扰措施	183
7.1.1	软件结构特点及软件抗干扰技术	183
7.1.2	软件抗干扰措施	184
7.2	软件系统的可靠性设计	190
7.2.1	监视跟踪定时器与自监视及互监视	190
7.2.2	软件陷阱设置	196
7.2.3	自检及故障自动恢复处理程序	200
参考文献		204

第 1 章

自动化控制系统

1.1 自动化控制系统基础知识

1.1.1 自动化及自动化技术

一、自动化

自动化 (Automation) 是美国人 D. S. Harder 于 1936 年提出的, 他认为在一个生产过程中, 机器之间的零件转移不用人去搬运就是自动化。自动化的概念是一个动态发展过程。20 世纪 50 年代, 自动调节器和经典控制理论的发展, 使自动化进入以单变量自动调节系统为主的局部自动化阶段。20 世纪 60 年代, 随着现代控制理论的出现和电子计算机的推广应用, 自动控制与信息处理结合起来, 使自动化进入到生产过程的最优控制与管理的综合自动化阶段。

20 世纪 70 年代, 自动化的对象变为大规模、复杂的工程和非工程系统, 涉及许多用现代控制理论难以解决的问题。这些问题的研究, 促进了自动化的理论、方法和手段的革新, 于是出现了大系统的系统控制和复杂系统的智能控制, 综合利用计算机、通信技术、系统工程和人工智能等成果的高级自动化系统, 如柔性制造系统、办公自动化、智能机器人、专家系统、决策支持系统、计算机集成制造系统等。

过去, 人们对自动化的理解或者说自动化的功能目标是以机械的动作代替人力操作, 自动地完成特定的作业。这实质上是自动化代替人的体力劳动的观点。后来随着电子和信息技术的发展, 特别是随着计算机的出现和广泛应用, 自动化的概念被扩展为不仅用机器 (包括计算机) 代替人的体力劳动而且还代替或辅助人的脑力劳动, 以自动地完成特定的作业。

今天看来, 自动化的上述概念也还不完善。把自动化的功能目标看成是用机器代替人的体力劳动或脑力劳动是比较狭窄的理解。这种理解甚至在某种程度上阻碍了自动化技术的发展。自动化已远远突破了传统的概念, 具有更加宽广和深刻的内涵。自动化的广义内涵至少包括以下几点: 在形式方面, 制造自动化有三个方面的含义。代替人的体力劳动, 代替或辅助人的脑力劳动, 制造系统中人机及整个系统的协调、管理、控制和优化。在功能方面, 自动化代替人的体力劳动或脑力劳动仅是自动化功能目标体系的一部分, 自动化的功能目标是多方面的, 已形成一个有机体系。在范围方面, 制造自动化不仅涉及具体生产制造过程, 而且涉及产品生命周期的所有过程。自动化是一门涉及学科较多、应用广泛的综合性科学技术。作为一个系统工程, 它由如下 5 个单元组成。

- (1) 程序单元, 决定做什么和如何做。
- (2) 作用单元, 施加能量和定位。
- (3) 传感单元, 检测过程的性能和状态。
- (4) 制定单元, 对传感单元送来的信息进行比较, 制定和发出指令信号。
- (5) 控制单元, 进行制定并调节作用单元的机构。



自动化的研究内容主要有自动控制和信息处理两个方面,包括理论、方法、硬件和软件等。从应用观点来看,研究内容有过程自动化、机械制造自动化、管理自动化、实验室自动化和家庭自动化等。

二、自动化技术

自动化技术是一门综合性技术,它和控制论、信息论、系统工程、计算机技术、电子学、液压气压技术、自动控制等都有着十分密切的关系,而其中又以控制理论和计算机技术对自动化技术的影响最大。

自动化技术形成时期是在 18 世纪末~20 世纪 30 年代。1788 年英国机械师 J. 瓦特发明离心式调速器(又称飞球调速器),并把它与蒸汽机的阀门连接起来,构成蒸汽机转速的闭环自动控制系统。瓦特的这项发明开创了近代自动调节装置应用的新纪元,对第一次工业革命及后来控制理论的发展有重要影响。人们开始采用自动调节装置,来对付工业生产中提出的控制问题。这些调节器都是一些跟踪给定值的装置,使一些物理量保持在给定值附近。自动调节器应用标志着自动化技术进入新的历史时期。进入 20 世纪以后,工业生产中广泛应用各种自动调节装置,促进了对调节系统进行分析 and 综合的研究工作。这一时期虽然在自动调节器中已广泛应用反馈控制的结构,但从理论上研究反馈控制的原理是从 20 世纪 20 年代开始的。1833 年英国数学家 C. 巴贝奇在设计分析时首先提出了程序控制的原理。1939 年世界上第一批系统与控制的专业研究机构成立,为 20 世纪 40 年代形成经典控制理论和发展局部自动化作了理论上和组织上的准备。

20 世纪 40~50 年代是局部自动化时期,第二次世界大战时期形成的经典控制理论对战后发展局部自动化起了重要的促进作用。在发展的过程中形成了经典控制理论,设计出各种精密的自动调节装置,开创了系统和控制这一新的科学领域。这一新的学科当时在美国被称为伺服机构理论,在苏联被称为自动调整理论,主要是解决单变量的控制问题。经典控制理论这个名称是 1960 年在第一届全美联合自动控制会议上提出来的。

三、自动化技术的发展趋势

现代生产和科学技术的发展,对自动化技术提出越来越高的要求,同时也为自动化技术的革新提供了必要条件。20 世纪 70 年代以后,自动化开始向复杂的系统控制和高级的智能控制发展,并广泛地应用到国防、科学研究和经济等各个领域,实现更大规模的自动化,例如大型企业的综合自动化系统、全国铁路自动调度系统、国家电力网自动调度系统、空中交通管制系统、城市交通控制系统、自动化指挥系统、国民经济管理系统等。自动化的应用正从工程领域向非工程领域扩展,如医疗自动化、人口控制、经济管理自动化等。自动化将在更大程度上模仿人的智能,机器人已在工业生产、海洋开发和宇宙探测等领域得到应用,专家系统在医疗诊断、地质勘探等方面取得显著效果。工厂自动化、办公自动化、家庭自动化和农业自动化将成为新技术革命的重要内容,并得到迅速发展。

国外自动化技术的发展趋势是系统化、柔性化、集成化和智能化,自动化技术不断提高光电子、自动化控制系统、传统制造等行业的技术水平和市场竞争力,它与光电子、计算机、信息技术的融合和创新,不断创造和形成新的行业经济增长点,同时不断提供新的行业发展的管理战略哲理。

自动化控制产品正向着成套化、系列化、多品种方向发展,以自动控制技术、数据通信技术、图像显示技术为一体的综合性系统装置成为国外工业过程控制的主导产品,现场总线成为自动化控制技术发展的第一热点。可编程控制(PLC)与集散控制系统(DCS)的实现功能越来越接近,价格也逐步接近,目前国外自动控制与仪器仪表领域的前沿厂商已推出了类似 PCS(Process Control System)的产品。

四、全集成自动化

在所有领域中无论是针对过程工业还是针对生产工业，也不论处于哪个领域，全集成自动化都是实现完全符合各种具体需要的自动化解决方案的唯一基础。将在其他行业应用中不断尝试后获得的经验，连同成熟的产品线，直接应用于当前的开发工作中，进而为工业带来诸多好处。

全集成自动化可以为整个工厂内实现统一、高效自动化奠定基础，全集成自动化在机器或工厂的整个生命周期（从最初的规划阶段、到安装和调试、操作和维护，一直到扩展和现代化）内提供了大量的优势。全集成自动化的优势如下。

（1）安装和调试。在工厂范围内使用相同的通信标准（如 PROFIBUS 和 PROFINET），将接口需求降至最低，同时简化了安装与调试过程。

（2）运行。集成通信可以在整个工厂范围内最大限度地提高透明性，这表明，在需求变更时工厂可以更快速灵活地作出响应，并采取十分有效的诊断措施。全集成自动化，还意味着，无论是直接操作控制系统还是通过操作面板，对所有站都进行统一操作。

（3）维护。智能维护策略能够更快地检测、分析和消除可能的错误源，甚至是在使用远程维护的情况下也是如此。在许多系统操作过程中，都可以更换模块。

（4）现代化和扩展。现有工厂很轻松地适应不断变化的要求，通常不用中断运行。由于产品和系统的不断深入开发具有持续性，从而避免了系统中诸多不必要的变更，因此在最大程度上确保了投资安全。

1.1.2 控制及自动化控制系统

一、控制

控制是一个具有广泛意义的概念，它可以指人与人的关系，也可以指其他方面的关系。当指人一机关系时，称为人工控制。人工控制是指人为了使某种机器或设备处于希望的状态而对其进行的操作。当控制仅涉及机器或设备时，称为自动控制。自动控制是指在无人直接参与的情况下，利用控制装置使被控对象（机器、设备）的某一个物理量自动地按照预定的规律运行，或使其参数按预定要求变化。

二、自动控制系统

自动控制系统是为实现某一控制目标所需要的物理部件（及软件）的有机组合，通常由控制器和被控对象组成。在研究自动控制系统时，为了更清楚的表示控制系统各环节的组成、特性和相互间的信号联系，一般都采用方框图。每个方框表示组成系统的一个环节，两个方框之间用带箭头的线段表示信号联系，进入方框的信号为环节输入，离开方框的为环节输出。闭环控制系统框图如图 1-1 所示，各环节作用如下。

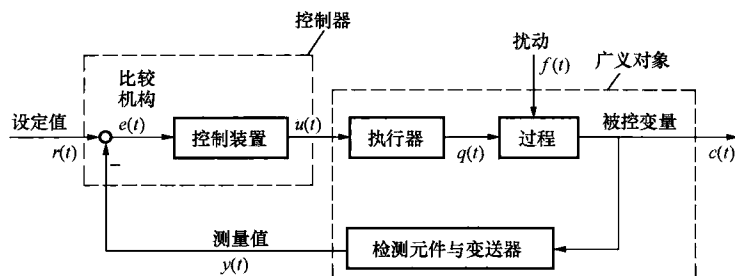


图 1-1 闭环控制系统框图

- (1) 检测元件与变送器的作用是把被控变量 $c(t)$ 转化为测量值 $y(t)$ 。
- (2) 比较机构的作用是比较设定值 $r(t)$ 与测量值 $y(t)$ 并输出其差值。
- (3) 控制装置的作用是根据偏差的正负、大小及变化情况，按某种预定的控制规律给出控制作用 $u(t)$ 。比较机构和控制装置通常组合在一起，称为控制器。
- (4) 执行器的作用是接受控制器送来的 $u(t)$ ，相应地去改变操纵变量 $q(t)$ 。

将系统中控制器以外的各部分组合在一起，即过程、执行器、检测元件与变送器的组合称为广义对象。在分析控制系统的工作过程时，有如下几个很重要的概念。

(1) 信息。在图 1-1 中的 $r(t)$ 、 $y(t)$ 、 $f(t)$ 等尽管是实际的物理量，但它们是作为信息来转换和作用的。在图 1-1 中的每一部分称为一个环节，作用于它的信息称为该环节的输入信号，它送出的信息称为输出信号。前一环节的输出就是后一环节的输入信号。每一环节的输出信号与输入信号之间的关系仅取决于该环节的特性。从整个系统来看，输入信号：设定值和扰动；输出信号：被控变量、测量值。

(2) 闭环控制。闭环也叫反馈控制系统，是将系统输出量的测量值与所期望的给定值相比较，由此产生一个偏差信号，利用此偏差信号进行调节控制，使输出值尽量接近于期望值。

(3) 动态物理量是时间的函数、是不断变化的。扰动作用使被控变量偏离设定值，控制作用又使它回到设定值。

(4) 开环控制。只根据设定值进行控制，没有反馈的控制系统。特点：结构简单，但无法消除偏差。

自动控制系统的类型如下。

(1) 恒值控制系统。给定输入一经确定就维持不变，且希望输出维持在某一特定值上。如：液位控制系统、直流电动机调速系统、恒定压力、恒定温度和恒定流量等属于此系统类型。

(2) 随动控制系统。给定的信号变化规律是事先不能确定的随机信号。

(3) 程序控制系统。给定的信号不是随机的，而是按事先预定的规律变化。如：仿真控制系统、机床数控加工控制系统、加热炉温度自动变化控制等。

1.1.3 工业自动化控制系统

一、工业自动化控制系统构成

工业自动化控制系统是指对工业生产过程及其机电设备、工艺装备进行测量与控制的自动化技术工具（包括自动测量仪表、控制装置）的总称。工业自动化系统以构成的软、硬件可分为：自动化设备、仪器仪表与测量设备、自动化软件、传动设备、计算机硬件、通信网络等。

(1) 自动化设备包括可编程序控制器（PLC）、传感器、编码器、人机界面、开关、断路器、按钮、接触器、继电器等工业电器及设备；

(2) 仪器仪表与测量设备包括压力仪器仪表、温度仪器仪表、流量仪器仪表、物位仪器仪表、阀门等设备。

(3) 自动化软件包括计算机辅助设计与制造系统（CAD/CAM）、工业控制软件、网络应用软件、数据库软件、数据分析软件等。

(4) 传动设备包括调速器、伺服系统、运动控制、电源系统、电动机等。

(5) 计算机硬件包括嵌入式计算机、工业计算机、工业控制计算机等。

(6) 通信网络包括网络交换机、视频监视设备、通信连接器、网桥等。

工业自动化系统产品一般可分成下列几类：

(1) 可编程序控制器（PLC）。按功能及规模可分为大型 PLC（输入输出点数 > 1024 ）、中型 PLC（输入输出点数为 $256 \sim 1024$ ）及小型 PLC（输入输出点数 < 256 ）。



(2) 分布式控制系统 (DCS)。又称集散控制系统,按功能及规模亦可分为多级分层分布式控制系统、中小型分布式控制系统、两级分布式控制系统。

(3) 工业 PC 机。能适合工业恶劣环境的 PC 机,配有各种过程输入输出接口板组成工控机,近年又出现了 PCI 总线工控机。

(4) 嵌入式计算机及 OEM 产品,包括 PID 调节器及控制器。

(5) 机电设备数控系统 (CNC、FMS、CAM)。

(6) 现场总线控制系统 (FCS)。

二、工业自动化控制热点技术

工业自动化控制技术是一种运用控制理论、仪器仪表、计算机和其他信息技术,对工业生产过程实现检测、控制、优化、调度、管理和决策,达到增加产量、提高质量、降低消耗、确保安全等目的的综合性技术,主要包括工业自动化软件、硬件和系统三大部分。工业自动化控制技术作为 20 世纪现代制造领域中最重要的一项技术,主要解决生产效率与一致性问题。虽然自动化系统本身并不直接创造效益,但它对企业生产过程有明显的提升作用。

我国工业自动化控制系统的发展道路大多是在引进成套设备的同时进行消化吸收,然后进行二次开发和应用。目前我国工业自动化控制技术、产业和应用都有了很大的发展,我国工业计算机系统行业已经形成。工业自动化控制技术正在向智能化、网络化和集成化方向发展。

(一) 以工业 PC 为基础的低成本工业自动化控制系统将成为主流

从 20 世纪 60 年代开始,西方国家就依靠技术进步(即新设备、新工艺以及计算机应用),开始对传统工业进行改造,使工业得到飞速发展。20 世纪末世界上最大的变化就是全球市场的形成。全球市场导致竞争空前激烈,促使企业必须加快新产品投放市场时间(Time to Market)、改善质量(Quality)、降低成本(Cost)以及完善服务体系(Service),这就是企业的 T. Q. C. S.。虽然计算机集成制造系统(CIMS)结合信息集成和系统集成,追求更完善的 T. Q. C. S.,使企业实现“在正确的时间,将正确的信息以正确的方式传给正确的人,以便作出正确的决策”,即“五个正确”。然而这种自动化需要投入大量的资金,是一种高投资、高效益同时是高风险的发展模式,很难为大多数中小企业所采用。在我国,中小型企业以及准大型企业走的还是低成本工业自动化控制系统的道路。

工业自动化控制系统主要包含三个层次,从下往上依次是基础自动化、过程自动化和管理自动化,其核心是基础自动化和过程自动化。

基础自动化部分基本被 PLC 和 DCS 所垄断,过程自动化和管理自动化部分主要是由各种进口的过程计算机或小型机组成,其硬件、系统软件和应用软件的价格之高令众多企业望而却步。

20 世纪 90 年代以来,由于 PC-based 工业计算机(简称工业 PC)的发展,以工业 PC、I/O 装置、监控装置、控制网络组成的 PC-based 自动化系统得到了迅速普及,成为实现低成本工业自动化的重要途径。

由于基于 PC 的控制器被证明可以像 PLC 一样可靠,并且被操作和维护人员接受,所以,一个接一个的制造商至少在部分生产中正在采用 PC 控制方案。基于 PC 的控制系统易于安装和使用,有高级的诊断功能,为系统集成商提供了更灵活的选择,从长远角度看,PC 控制系统维护成本低。

近年来,工业 PC 在我国得到了异常迅速的发展。从世界范围来看,工业 PC 主要包含两种类型:IPC 工控机和 CompactPCI 工控机以及它们的变形机,如 AT96 总线工控机等。由于基础自动化和过程自动化对工业 PC 的运行稳定性、热插拔和冗余配置要求很高,现有的 IPC 已经不能完全满足要求,将逐渐退出该领域,取而代之的将是 CompactPCI-based 工控机,而 IPC 将占



据管理自动化层。

当“软 PLC”出现时,业界曾认为工业 PC 将会取代 PLC。然而,时至今日工业 PC 并没有代替 PLC,主要有两个原因:一个是系统集成原因;另一个是软件操作系统 WindowsNT 的原因。一个成功的 PC-based 控制系统要具备两点:一是所有工作要由一个平台上的软件完成;二是向客户提供所需要的所有东西。可以预见,工业 PC 与 PLC 的竞争将主要在高端应用上,其数据复杂且设备集成度高。工业 PC 不可能与低价的微型 PLC 竞争,这也是 PLC 市场增长最快的一部分。从发展趋势看,控制系统的将来很可能存在于工业 PC 和 PLC 之间,这些融合的迹象已经出现。

(二) PLC 在向微型化、网络化、PC 化和开放性方向发展

微型化、网络化、PC 化和开放性是 PLC 未来发展的主要方向。在基于 PLC 自动化的早期,PLC 体积大而且价格昂贵。但在最近几年,微型 PLC (小于 32I/O) 已经出现,价格只有几百欧元。随着软 PLC (SoftPLC) 控制组态软件的进一步完善和发展,安装有软 PLC 组态软件和 PC-based 控制的市场份额将逐步得到增长。

当前,过程控制领域最大的发展趋势之一就是 Ethernet 技术的扩展,PLC 也不例外。现在越来越多的 PLC 供应商开始提供 Ethernet 接口。可以相信,PLC 将继续向开放式控制系统方向转移,尤其是基于工业 PC 的控制系统。

(三) 面向测控管一体化设计的 DCS 系统

集散控制系统 DCS (Distributed Control System) 问世于 1975 年,生产厂家主要集中在美、日、德等国。我国从 20 世纪 70 年代中后期起,首先由大型进口设备成套引入国外的 DCS,首批有化纤、乙烯、化肥等进口项目。当时,我国主要行业(如电力、石化、建材和冶金等)的 DCS 基本全部进口。20 世纪 80 年代初期在引进、消化和吸收的同时,开始了研制国产化 DCS 的技术攻关。

(四) 控制系统正在向现场总线 (FCS) 方向发展

由于 3C (Computer、Control、Communication) 技术的发展,过程控制系统将由 DCS 发展到 FCS (Fieldbus Control System)。FCS 可以将 PID 控制彻底分散到现场设备 (Field Device) 中。基于现场总线的 FCS 又是全分散、全数字化、全开放和可互操作的新一代生产过程自动化系统,它将取代现场一对一的 4~20mA 模拟信号线,给传统的工业自动化控制系统体系结构带来革命性的变化。

根据 IEC61158 的定义,现场总线是安装在制造或过程区域的现场装置与控制室内的自动控制装置之间的数字式、双向传输、多分支结构的通信网络。现场总线使测控设备具备了数字计算和数字通信能力,提高了信号的测量、传输和控制精度,提高了系统与设备的功能、性能。

计算机控制系统的发展在经历了基地式气动仪表控制系统、电动单元组合式模拟仪表控制系统、集中式数字控制系统以及集散控制系统 (DCS) 后,将朝着现场总线控制系统 (FCS) 的方向发展。虽然以现场总线为基础的 FCS 发展很快,但 FCS 发展还有很多工作要做,如统一标准、仪表智能化等。另外,传统控制系统的维护和改造还需要 DCS,因此 FCS 完全取代传统的 DCS 还需要一个较长的过程,同时 DCS 本身也在不断的发展与完善。可以肯定的是,结合 DCS、工业以太网、先进控制等新技术的 FCS 将具有强大的生命力。工业以太网以及现场总线技术作为一种灵活、方便、可靠的数据传输方式,在工业现场得到了越来越多的应用,并将在控制领域中占有更加重要的地位。

(五) 仪器仪表技术在向数字化、智能化、网络化、微型化方向发展

经过 60 多年的发展,我国仪器仪表工业已有相当基础,初步形成了门类比较齐全的生产、科研、营销体系。但目前我国仪器仪表行业产品大多属于中低档水平,随着国际上数字化、智

能化、网络化、微型化的产品逐渐成为主流,差距还将进一步加大。目前,我国高档、大型仪器设备大多依赖进口。中档产品以及许多关键零部件,国外产品占有我国市场 60% 以上的份额,而国产分析仪器占全球市场不到千分之二二的份额。

今后仪器仪表技术的主要发展趋势:仪器仪表向智能化方向发展,即智能仪器仪表;测控设备的 PC 化,虚拟仪器技术将迅速发展;仪器仪表网络化,网络仪器与远程测控系统。

(六) 数控技术向智能化、开放性、网络化、信息化发展

近 10 年来,随着计算机技术的飞速发展,各种不同层次的开放式数控系统应运而生,发展很快。目前正朝着标准化开放体系结构的方向前进。就结构形式而言,当今世界上的数控系统大致可分为 4 种类型:传统数控系统、“PC 嵌入 NC”结构的开放式数控系统、“NC 嵌入 PC”结构的开放式数控系统、SOFT 型开放式数控系统。

国外数控系统技术发展的总体发展趋势是:新一代数控系统向 PC 化和开放式体系结构方向发展;驱动装置向交流、数字化方向发展;增强通信功能,向网络化发展;数控系统在控制性能上向智能化发展。

智能化、开放性、网络化、信息化成为未来数控系统和数控机床发展的主要趋势:向高速、高效、高精度、高可靠性方向发展;向模块化、智能化、柔性化、网络化和集成化方向发展;向 PC-based 化和开放性方向发展。

(七) 工业控制网络将向有线和无线相结合方向发展

在工业自动化领域,有成千上万的感应器、检测器、计算机、PLC、读卡器等设备,需要互相连接形成一个控制网络,通常这些设备提供的通信接口是 RS-232 或 RS-485。无线局域网设备使用隔离型信号转换器,将工业设备的 RS-232 串口信号与无线局域网及以太网信号相互转换,符合无线局域网 IEEE802.11b 和以太网 IEEE802.3 标准,支持标准的 TCP/IP 网络通信协议,有效的扩展了工业设备的联网通信能力。

计算机网络技术、无线技术以及智能传感器技术的结合,产生了“基于无线技术的网络化智能传感器”的全新概念。这种基于无线技术的网络化智能传感器使得工业现场的数据能够通过无线链路直接在网络上传输、发布和共享。无线局域网技术能够在工厂环境下,为各种智能现场设备、移动机器人以及各种自动化设备之间的通信提供高带宽的无线数据链路和灵活的网络拓扑结构,在一些特殊环境下有效地弥补了有线网络的不足,进一步完善了工业控制网络的通信性能。

(八) 工业控制软件正向先进控制方向发展

作为工控软件的一个重要组成部分,在国内人机界面组态软件研制方面,近几年取得了较大进展,软件和硬件相结合为企业测、控、管一体化提供了比较完整的解决方案。在此基础上,工业控制软件将从人机界面和基本策略组态向先进控制方向发展。

目前,先进过程控制 APC (Advanced Process Control) 还没有严格而统一的定义,一般将基于数字模型而又必须用计算机来实现的控制算法,统称为先进过程控制策略。如:自适应控制、预测控制、鲁棒控制、智能控制(专家系统、模糊控制、神经网络)等。

1.2 PLC 控制系统

1.2.1 PLC 定义及特点

一、可编程序控制器的定义

可编程序控制器 (Programmable Controller) 是计算机家族中的一员,是为工业控制应用而

设计制造的。1968 年美国 GM（通用汽车）公司提出取代继电器控制装置的要求，1968 年美国数字公司研制出了基于集成电路和电子技术的控制装置，首次采用程序化的手段应用于电气控制，这就是第一代可编程序控制器，它主要用来代替继电器实现逻辑控制。

美国电气制造商协会 NEMA（National Electrical Manufactory Association）经过四年的调查工作，于 1984 年首先将其正式命名为 PC（Programmable Controller），并给 PC 作了如下定义：PC 是一个数字式的电子装置，它使用了可编程序的记忆体储存指令。用来执行诸如逻辑、顺序、计时、计数与运算等功能，并通过数字或类似的输入/输出模块，以控制各种机械或工作程序。一部数字电子计算机若是从事执行 PC 功能，亦被视为 PC，但不包括鼓轮式或类似的机械式顺序控制器。但是为了避免与个人计算机（Personal Computer）的简称混淆，所以将可编程序控制器简称 PLC。

日本电气控制学会曾对 PLC 作了一个定义：PLC 是将逻辑运算、顺序控制、时序和计数以及算术运算等控制程序，用一串指令的形式存放到存储器中，然后根据存储的控制内容，经过模拟、数字等输入输出部件，对生产设备和生产过程进行控制的装置。

1987 年，国际电工委员会（IEC）颁布了新的 PLC 标准及其标准定义：可编程序控制器是一种数字运算工作的电子系统，专为在工业环境应用而设计的。它采用一类可编程的存储器，用于其内部存储程序，执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数与算术操作等面向用户的指令，并通过数字或模拟式输入/输出控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关外部设备，都按易于与工业控制系统联成一个整体，易于扩充其功能的原则设计。

PLC 是基于电子计算机，且适用于工业现场工作的控制装置。它源于继电控制装置，但它不像继电装置那样，通过电路的物理过程实现控制，而主要靠运行存储于 PLC 内存中的程序，进行入出信息变换实现控制。

PLC 并不等同于普通计算机，普通计算机进行入出信息变换，只考虑信息本身，信息的入出只要人机界面友好就可以。而 PLC 则还要考虑信息入出的可靠性、实时性，以及信息的使用等问题。特别要考虑怎么适应于工业环境，如便于安装，抗干扰等问题。

总之，PLC 是一台计算机，它是专为工业环境应用而设计制造的计算机。它具有丰富的输入、输出接口，并且具有较强的驱动能力。但 PLC 产品并不针对某一具体工业应用，在实际应用时，其硬件需根据实际需要进行选用配置，其软件需根据控制要求进行设计编制。

二、PLC 构成的控制系统特点

PLC 是在传统的顺序控制器的基础上引入了微电子技术、计算机技术、自动控制技术和通信技术而形成的一代新型工业控制装置，目的是用来取代继电器、执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能，建立柔性的程控系统。

PLC 程序既有生产厂家的系统程序，又有用户自己开发的应用程序，系统程序提供运行平台，同时，还为 PLC 程序可靠运行及信息与信息转换进行必要的公共处理，用户程序由用户按控制要求设计。PLC 构成的控制系统主要特点如下。

（1）可靠性高，抗干扰能力强。高可靠性是电气控制设备的关键性能，PLC 由于采用现代大规模集成电路技术，采用严格的生产工艺制造，内部电路采取了先进的抗干扰技术，具有很高的可靠性。使用 PLC 构成控制系统，和同等规模的继电器系统相比，电气接线及开关接点已减少到数百甚至数千分之一，故障也就大大降低。此外，PLC 带有硬件故障自我检测功能，出现故障时可及时发出警报信息。在应用软件中，应用者还可以编入外围器件的故障自诊断程序，使系统中除 PLC 以外的电路及设备也获得故障自诊断保护。这样，使整个系统的可靠性得以全面提高。PLC 在硬软件上提高可靠性的措施如下。

1) 所有的 I/O 接口电路均采用光电隔离，使工业现场的外电路与 PLC 内部电路之间电气上

隔离。

- 2) 各输入端均采用 RC 滤波器, 其滤波时间常数一般为 $10\sim 20\text{ms}$ 。
- 3) 各模块均采用屏蔽措施, 以防止辐射干扰。
- 4) 采用性能优良的开关电源。
- 5) 对采用的器件进行严格的筛选。
- 6) 良好的自诊断功能, 一旦电源或其他软硬件发生异常情况, CPU 立即采用有效措施, 以防止故障扩大。
- 7) 大型 PLC 还可以采用由双 CPU 构成冗余系统或由三 CPU 构成表决系统, 使可靠性进一步提高。

(2) 配套齐全, 功能完善, 适用性强。PLC 发展到今天, 已经形成了各种规模的系列化产品, 可以用于各种规模的工业控制场合。除了逻辑处理功能以外, PLC 大多具有完善的数据运算能力, 可用于各种数字控制领域。多种多样的功能单元大量开发应用, 使 PLC 渗透到了位置控制、温度控制、CNC 等各种工业控制中。加上 PLC 通信能力的增强及人机界面技术的发展, 使用 PLC 组成各种控制系统变得非常容易。

(3) 易学易用。PLC 是面向工矿企业的工控设备, 它接口容易, PLC 的编程大多采用类似于继电器控制线路的梯形图形式, 与实际继电器控制电路非常接近, 对使用者来说, 梯形图语言的图形符号与表达方式和继电器电路图相当接近, 因此很容易被一般工程技术人员所理解和掌握。而采用功能块图、指令表和顺序功能表图 (SFC) 语言为 PLC 编程, 也不需要太多的计算机编程知识。利用 PLC 配套的综合软件工具包, 可在任何兼容的个人计算机上实现离线编程。

(4) 系统设计的工作量小, 维护方便, 容易改造。PLC 用存储逻辑代替接线逻辑, 大大减少了控制设备外部的接线, 使控制系统设计及建设的周期大为缩短, 同时日常维护也变得容易起来, 更重要的是使同一设备经过改变程序而使改变生产过程成为可能。这特别适合多品种、小批量的生产场合。

(5) PLC 的功能非常丰富。这主要与它具有丰富的处理信息的指令系统及存储信息的内部器件有关。它的指令多达几十条、几百条, 可进行各式各样的逻辑问题的处理, 还可进行各种类型数据的运算。凡普通计算机能做到的, PLC 也都可作到。PLC 针对不同的工业现场信号 (如: 交流或直流、开关量或模拟量、电压或电流、脉冲或电位、强电或弱电等) 有相应的 I/O 模块与工业现场的器件或设备 (如: 按钮、行程开关、接近开关、传感器及变送器、电磁线圈、控制阀等) 直接连接。

在 PLC 内存中的数据存储区, 种类繁多, 容量宏大。它的数据存储区还可用以存储大量数据, 几百、几千、几万字的信息都可以存, 而且掉电后不丢失。I/O 继电器可以用以存储输入、输出点信息, 少的几十、几百, 多的可达几千、几万, 以至十几万。这意味着它可进行这么多 I/O 点的输入输出信息变换, 满足大规模控制系统的需求。

PLC 内部的各种继电器, 相当于中间继电器, 数量众多, 内存中一个位就可作为一个中间继电器。PLC 内部的计数器、定时器可达成百、成千, 这是因为只要用内存中的一个字, 再加一些标志位, 即可成为定时器、计数器。而且, 这些内部器件还可设置成掉电保持的, 或掉电不保持的, 即上电后予以清零的, 以满足不同的使用要求。PLC 内部的器件如下。

(1) I/O 继电器或称映射区。它与 PLC 所能控制的 I/O 点数及模拟量的路数直接相关。

(2) 内部继电器。内部继电器数有的称为标志位数, 代表着 PLC 的内部继电器数, 它与 I/O 继电器区相联系着。内部继电器多, 便于 PLC 建立复杂的时序关系, 以实现多种多样的控制要求。一般讲, 内部继电器数比 I/O 继电器要多得多。



有的内部继电器还具有失电保持功能,即它的状态(ON 或 OFF)在 PLC 失电后,靠内部电池予以保持。再上电后可继续失电前的状态。保持继电器可增强 PLC 控制能力,特别对记录故障,故障排除后恢复运行,更显得有用。

(3) 内部定时器。利用内部定时器可实现定时控制,定时值可任意设定。定时器有多少,设定范围有多大,设定值的分辨率又是多少,这些都代表定时器的性能。

(4) 内部计数器。利用内部计数器可实现计数控制,到达某设定计数值可发送相应信号。可进行什么样的计数,计数范围多大,怎么设定,有多少计数器,这些都代表计数器的性能。

(5) 数据存储区。数据存储区用以存储工作数据,多以字、两字或多字为单位予以使用,是 PLC 进行模拟量控制或记录数据所必不可少的。这个存储区的大小代表 PLC 的性能,数据存储区是越大越好,其发展趋势也是越来越大。

另外为了提高工作性能,PLC 还有多种人机对话的接口模块,PLC 还有丰富的外部设备,可建立友好的人机界面,以进行信息交换。可写入程序,写入数据,可读出程序,读出数据。而且读、写时可在图文并茂的画面上进行。数据读出后,可转储,可打印。数据写入可键入,可以读卡写入等。

为了组成工业局部网络,PLC 还有多种通信联网的接口模块,可与计算机连接或联网,与计算机进行交换信息。PLC 自身也可联网,以形成单机所不能够实现的更大的、地域更广的控制系统。PLC 还有强大的自检功能,可进行自诊断。其结果可自动记录。这为它的维修增加了透明度,提供了方便。

丰富的功能为 PLC 的广泛应用提供了可能,同时,也为工业系统的自动化、远动化及其控制的智能化创造了条件。像 PLC 这样集丰富功能于一身,是别的电控装置所没有的,更是传统的继电控制系统所无法比拟的。

(6) 采用模块化结构。扩充方便,组合灵活,为了适应各种工业控制需要,除了单元式的小型 PLC 以外,绝大多数 PLC 均采用模块化结构。PLC 的各个部件,包括 CPU、电源、I/O 等均采用模块化设计,由机架及电缆将各模块连接起来,系统的规模和功能可根据用户的需要自行组合。

PLC 是系列化产品,可以采用不同的模块结构来完成不同的任务组合。I/O 从 8~8192 点有多种机型、多种功能模板可灵活组合,结构形式也是多样的。

(7) 安装简单,维修方便。PLC 不需要专门的机房,可以在各种工业环境下直接运行。使用时只需将现场的各种设备与 PLC 相应的 I/O 端相连接,写入 PLC 的应用程序即可投入运行。各种模块上均有运行和故障指示装置,便于用户了解运行情况和查找故障。由于采用模块化结构,因此一旦某模块发生故障,用户可以通过更换模块的方法,使系统迅速恢复运行。

(8) 环境要求低,适用于恶劣的工业环境。PLC 的技术条件能在一般高温、振动、冲击和粉尘等恶劣环境下工作,能在强电磁干扰环境下可靠工作,这是 PLC 产品的市场生存价值。

(9) 运行速度快。随着微处理器的应用,使 PLC 的运行速度增快,使它更符合处理高速度复杂控制任务的要求,它与微型计算机之间的差别不是很明显。

(10) 体积小,质量轻。PLC 的质量、体积、功耗和硬件价格一直在降低,虽然软件价格占的比重有所增加,但是各厂商为了竞争也相应地降低了价格。另外,采用 PLC 还可以大大缩短设计、编程和投产周期,使总价格进一步降低。

三、PLC 在硬件方面的特点

PLC 在硬件方面的特点如下。

(1) PLC 的输入输出电路与内部 CPU 是电隔离, 其信息靠光耦器件或电磁器件传输。而且, CPU 板还有抗电磁干扰的屏蔽措施。故可确保 PLC 程序的运行不受外界的电与磁干扰, 而能正常稳定地工作。

(2) PLC 使用的元器件多为无触点的, 而且为高度集成的, 数量并不太多, 也为其可靠工作提供了物质基础。

(3) 在机械结构设计与制造工艺上, 为使 PLC 能安全可靠地工作, 也采取了很多措施, 可确保 PLC 耐振动、耐冲击。使用环境温度最高达 50°C , 有的 PLC 可高达 $80\sim 90^{\circ}\text{C}$ 。

(4) 采用同系列的 PLC 的模块可构成热备系统, 一个主机工作, 另一个主机也运行, 但不参与控制, 仅作备份。一旦工作主机出现故障, 热备主机可自动接替其工作。还可构成更进一步的冗余系统, 采用三取一的设计, CPU、I/O 模块、电源模块都冗余或其中的部分冗余。三套同时工作, 最终输出取决于三者中的多数决定的结果。这可使系统出故障的几率几乎为零, 做到万无一失。当然, 这样的系统成本是很高的, 只用于特别重要的场合。

四、PLC 在软件方面的特点

PLC 的工作方式为扫描加中断, 这既可保证它能有序地工作, 避免继电器控制系统常出现的“冒险竞争”, 其控制结果总是确定的; 而且又能满足应急处理的要求, 保证了 PLC 对应急情况的及时响应, 使 PLC 能可靠地工作。

为监控 PLC 运行程序是否正常, PLC 系统都设置了“看门狗”(Watchdog) 监控程序。运行用户程序开始时, 先清“看门狗”定时器, 并开始计时。当用户程序一个循环运行完了, 则查看定时器的计时值。若超时(一般不超过 100ms)则报警, 严重超时可使 PLC 停止工作。用户可依报警信号采取相应的应急措施。定时器的计时值若不超过, 则重复起始过程, PLC 将正常工作。显然, 有了这个“看门狗”监控程序, 可保证 PLC 用户程序的正常运行, 可避免出现“死循环”, 而影响其工作的可靠性。

PLC 还有很多防止及检测故障的指令, 以产生各重要模块工作正常与否的提示信号。可通过编制相应的用户程序, 对 PLC 的工作状况, 以及 PLC 所控制的系统进行监控, 以确保其可靠工作。PLC 每次上电后, 还都要运行自检程序及对系统进行初始化。这是系统程序配置的, 用户可不干预, 出现故障时有相应的出错信号提示。

1.2.2 PLC 控制系统构成及控制功能

一、PLC 控制系统构成

PLC 是基于计算机技术和自动控制理论发展而来的, 它既不同于普通的计算机, 又不同于一般的计算机控制系统, PLC 实质是一种专用于工业控制的计算机, 其硬件结构基本上与微型计算机相同。作为一种特殊形式的计算机控制装置, PLC 它在系统结构, 硬件组成, 软件结构以及 I/O 通道, 用户界面诸多方面都有其特殊性。PLC 的基本结构如图 1-2 所示。

一般讲, PLC 分为箱体式和模块式两种。但它们的组成是相同的, 无论哪种结构类型的 PLC, 都属于总线式开放型结构, 其 I/O 能力可按用户需要进行扩展与组合。

二、PLC 的控制功能

简单型式的 PLC 都具有逻辑、定时、计数等顺序、模拟量控制功能, 基本型式的 PLC 在简

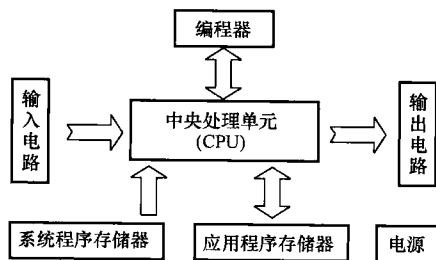


图 1-2 PLC 的基本结构图