



普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

# 工业自动化PLC控制系统 应用与实训

王万强 主编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

# 工业自动化 PLC 控制系统 应用与实训

主编 王万强

参编 张俊芳 陆志平 陈国金 孙淑强



机械工业出版社

本书是面向“卓越工程师教育培养”计划而编写的系列教材之一，主要内容有：工业自动化控制技术，介绍了工业自动化系统的特点、组成结构和控制系统的模式，包括开环控制、闭环控制及 PID 控制，以及简要介绍了传感器技术，包括工业传感器的类型、特点和应用；西门子 S7-300 PLC，介绍了 PLC 的工作原理、硬件结构、编程语言、硬件组态和调试方法；组态王软件，介绍了软件的开发过程、命令语言等；工业自动控制综合实训。

本书侧重工业自动化的实践、实训，工程性和实用性较强，通过多个项目化实训教学模块和大量工程实例使技术与实践融会贯通、活学活用。本书可作为高等学校学生学习工业自动化控制技术的实训教材，也可供工程技术人员进行参考。

#### 图书在版编目 (CIP) 数据

工业自动化 PLC 控制系统应用与实训/王万强主编 —北京：机械工业出版社，2013.10

普通高等教育“十二五”卓越工程能力培养规划教材

ISBN 978-7-111-44245-5

I. ①机… II. ①王… III. ①PLC 技术—高等学校—教材 IV. ①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 234160 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑：蔡开颖 责任编辑：蔡开颖 王寅生 王小东

版式设计：常天培 责任校对：陈 越

封面设计：张 静 责任印制：张 楠

北京玥实印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

184mm × 260mm · 11.75 印张 · 289 千字

标准书号：ISBN 978-7-111-44245-5

定价：24.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心：(010) 88361066

教材网：<http://www.cmpedu.com>

销售一部：(010) 68326294

机工官网：<http://www.cmpbook.com>

销售二部：(010) 88379649

机工官博：<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线：(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

可编程序控制器 (PLC) 广泛应用于工业自动化控制、机电一体化控制、传统工业控制系统当中,是现代工业控制的主要支柱设备之一。PLC 综合了计算机技术、自动控制技术和通信技术,具有功能强大、可靠性高、使用灵活方便、易于编程及适于在工业环境下应用等一系列优点。经过多年的发展,PLC 的功能已经远远超出了传统继电-接触器控制系统,已经延伸到过程控制系统、分散控制系统和高精度运动控制系统,已经在工业自动化控制领域成为一个世界潮流。

为了配合教育部的“卓越工程师教育培养计划”,提高学生的工程实践能力,增强校企合作的无缝链接,本书设计了基于项目化的 PLC 教学模式,通过多个实训项目达到培养学生技能的目标。PLC 的应用技术具有很强的实践性,因此实训环节至关重要,只有通过实训进行实际操作,学生才能真正学会、学懂 PLC 技术。本书通俗易懂,采用了众多清晰的图表和大量工程应用实例来帮助学生掌握工业自动化 PLC 控制系统的基本原理与应用技巧,提高学生的编程技巧和动手能力,丰富学生的工程实践经验,达到工程训练的目的。

本书共分为 4 章。第 1 章介绍了工业自动化系统的特点和组成结构。详细介绍了工业传感器的类型、特点和应用,包括电学式、磁学式、光电式等各种类型的传感器技术。重点介绍了控制系统的模式,包括开环控制、闭环控制及 PID 控制。第 2 章以西门子 S7-300 PLC 和组态王软件为背景对 PLC 自动控制系统进行介绍,包括 PLC 的硬件组成结构、工作原理、程序组成结构及开发过程、上位机组态技术及其应用。第 3 章详细介绍了西门子 S7-300 PLC 的编程语言和指令系统,包括梯形图和语句表。第 4 章给出了编者自行设计的多个综合实训案例,综合了传感器技术、自动控制技术、PLC 控制技术和组态技术。本书可作为学生实验课、实训课和课程设计的教材。

编者多年来在杭州电子科技大学讲授“电气控制与 PLC 原理”、“自动化仪表与过程控制”和“自动控制原理”等与本书内容息息相关的专业课程,担任“机电一体化”、“机电传动与控制”、“测试技术与传感器”等多门实践课程的指导教师,也承担了多个 PLC 自动控制横向课题。本书的所有内容都取自编者的教学工作和实际工程应用,融合了编者的 PLC 使用经验和成果。

衷心感谢陈国金教授对本书的立意、构思、内容和出版等方面给出的意见、建议和提供的大力支持。在编写本书的部分章节中,编者参考了有关资料,在此对参考文献的作者和同行们表示衷心的感谢和敬意!

由于编者水平有限,错误和疏漏在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

## 前言

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 第1章 工业自动化系统概述                  | 1  |
| 1.1 工业自动化的特点                   | 1  |
| 1.2 工业自动化系统的组成                 | 1  |
| 1.2.1 生产装置                     | 2  |
| 1.2.2 控制装置                     | 4  |
| 1.2.3 反馈装置                     | 7  |
| 1.2.4 辅助装置                     | 14 |
| 1.3 控制系统                       | 14 |
| 1.3.1 控制系统结构                   | 14 |
| 1.3.2 控制系统性能                   | 15 |
| 1.3.3 开环控制系统与闭环控制系统            | 15 |
| 1.3.4 PID 控制                   | 17 |
| 第2章 S7-300 PLC 自动控制系统          | 25 |
| 2.1 PLC 概述                     | 25 |
| 2.2 西门子 S7-300 PLC 结构体系与<br>模块 | 28 |
| 2.2.1 S7-300 PLC 的结构组成         | 28 |
| 2.2.2 CPU314 中央处理单元            | 30 |
| 2.2.3 SM321 数字量输入模块            | 31 |
| 2.2.4 SM322 数字量输出模块            | 33 |
| 2.2.5 SM331 模拟量输入模块            | 34 |
| 2.2.6 SM332 模拟量输出模块            | 36 |
| 2.2.7 模拟值的表示方法                 | 37 |
| 2.3 PLC 的工作原理                  | 39 |
| 2.4 PLC 程序开发                   | 40 |
| 2.4.1 PLC 编程语言                 | 40 |
| 2.4.2 S7-300 编程软件简介            | 41 |
| 2.4.3 STEP 7 的程序结构             | 42 |
| 2.4.4 STEP 7 组态硬件说明            | 44 |
| 2.4.5 S7-300 PLC 的模块地址         | 49 |
| 2.4.6 时钟存储器                    | 51 |
| 2.4.7 STEP 7 的使用方法             | 52 |
| 2.5 上位机组态监控                    | 68 |
| 2.5.1 组态软件简介                   | 68 |
| 2.5.2 组态王简介及使用方法               | 69 |

## 第3章 S7-300 PLC 编程语言与指令

|                                |     |
|--------------------------------|-----|
| 系统                             | 72  |
| 3.1 S7-300 PLC 的编程语言           | 72  |
| 3.1.1 PLC 编程语言的国际标准            | 72  |
| 3.1.2 STEP 7 中的编程语言            | 72  |
| 3.1.3 各种编程语言的特点                | 73  |
| 3.2 S7-300 PLC 的指令结构           | 74  |
| 3.2.1 指令的组成                    | 74  |
| 3.2.2 操作数                      | 75  |
| 3.2.3 S7-300 CPU 的存储区          | 77  |
| 3.2.4 S7-300 PLC 编程语言的数据<br>类型 | 78  |
| 3.2.5 寻址方式                     | 83  |
| 3.2.6 CPU 中的寄存器                | 83  |
| 3.3 位逻辑指令                      | 84  |
| 3.3.1 位逻辑运算指令                  | 85  |
| 3.3.2 位操作指令                    | 88  |
| 3.4 定时器指令                      | 94  |
| 3.4.1 定时器的组成                   | 94  |
| 3.4.2 定时器的启动与运行                | 95  |
| 3.4.3 脉冲定时器指令                  | 96  |
| 3.4.4 扩展脉冲定时器指令                | 97  |
| 3.4.5 接通延时定时器指令                | 99  |
| 3.4.6 保持型接通延时定时器指令             | 102 |
| 3.4.7 断开延时定时器指令                | 103 |
| 3.5 计数器指令                      | 105 |
| 3.5.1 计数器的组成及使用                | 105 |
| 3.5.2 计数器指令及其用法                | 105 |
| 3.6 数据处理功能指令                   | 111 |
| 3.6.1 装入和传送指令                  | 111 |
| 3.6.2 比较指令                     | 113 |
| 3.6.3 转换指令                     | 114 |
| 3.6.4 移位和循环移位指令                | 118 |
| 3.7 数据运算指令                     | 120 |
| 3.7.1 算术运算指令                   | 120 |
| 3.7.2 字逻辑运算指令                  | 123 |

|                                |            |                        |            |
|--------------------------------|------------|------------------------|------------|
| 3.8 控制指令 .....                 | 125        | 实训 .....               | 138        |
| 3.8.1 逻辑控制指令 .....             | 125        | 项目 3: 十字路口的交通指挥信号灯     |            |
| 3.8.2 程序控制指令 .....             | 128        | 实训 .....               | 142        |
| 3.8.3 主控继电器指令 .....            | 130        | 项目 4: 单容水槽液位定值控制 ..... | 147        |
| <b>第 4 章 工业自动化控制综合实训</b> ..... | <b>132</b> | 项目 5: 污水处理系统的 PLC 硬件组态 |            |
| 4.1 综合实训教学项目系统组成 .....         | 132        | 及软件开发 .....            | 162        |
| 4.2 自动控制系统综合实训教学实例 .....       | 134        | 项目 6: 污水处理系统的上位机组态     |            |
| 项目 1: STEP 7 软件操作综合实训 .....    | 134        | 监控开发与调试 .....          | 173        |
| 项目 2: 继电-接触式电气控制综合             |            | <b>参考文献</b> .....      | <b>182</b> |

# 第 1 章 工业自动化系统概述

一个工业自动化系统是为完成某项任务或生产某些产品而协同工作的一组设备和装置的集合。例如，一个汽车就是一个自动化系统。汽车有一个控制器，它接收多个传感器的输入并控制多个输出，这些输出用来调整发动机的动作，并实现其他一些功能，如灯光、制动等。

工业自动化大体经历了单机生产的自动化、组合生产的自动化与现代技术综合应用的自动化生产阶段，这主要体现在制造业的使用和发展上。从蒸汽机的制造使用，到计算机辅助工艺过程设计（Computer Aided Process Planning, CAPP）和计算机辅助设计（Computer Aided Design, CAD），再到现在的柔性制造系统，以及智能化制造与虚拟技术等，工业自动化技术的发展覆盖了制造业、电力等国民经济主要部门，在国家建设中起着中流砥柱的作用。

## 1.1 工业自动化的特点

应用工业自动化技术，对工业生产过程实现测量、控制、优化和决策，使企业实现生产的好、省、多、快，提升企业的市场竞争力。因此，国家中长期科技发展规划已明确，将工业自动化技术作为 21 世纪现代装备制造业中最重要的技术之一。在当今工业自动化领域内，通常把工业自动化系统分为五级：企业管理级、生产管理级、过程控制级、设备控制级和检测驱动级。

企业管理级和生产管理级这两级管理级涉及的技术主要是计算机技术、软件技术和网络技术。随着互联网技术和信息技术的飞速发展，必将进一步促进企业管理级的改革，企业可通过互联网在网上进行交易，因而电子商务技术必将成为企业管理级中的高技术。

过程控制级涉及的技术主要是智能控制技术和工程方法；设备控制级和检测驱动级涉及的技术主要是三电一体化技术、现场总线技术和新器件交流数字调速技术。

由此不难看出工业自动化技术是当今微电子技术和电力电子技术领域中高技术的综合应用技术，这是工业自动化技术的特点之一。

从管理和控制的角度看，必须在最优的管理和最佳的控制下，才能取得最大的经济效益和最优的产品质量，称之为管控一体化。仅从控制的角度看，工业自动化系统包括检测、控制和驱动三个系统，这三个系统既自成体系又互相联系，既要研究每一个系统的技术，又要研究三个系统的软硬件连接及最佳配合技术，这称之为三电一体化技术。管控一体化和三电一体化是工业自动化技术的第二个特点。

## 1.2 工业自动化系统的组成

工业自动化系统是一个机器或一组机器，成为一个单元。在一个单元中有四种基本类型的装置，即生产、控制、反馈和辅助装置。

### 1.2.1 生产装置

生产装置包括机器人、计算机数控设备、刚性自动化装置等。生产装置按照制造工序运行，如加工、装配、焊接、喷漆及其他增值工序，最后生产出一个完整的零件。

#### 1. 机器人

机器人在一个自动化系统中有多种功能，包括移动并定位零件等重复性动作和完成组装零件等生产任务。机器人擅长做重复性工作，动作快速而精确。机器人有多种驱动类型：电动、气动和液压驱动，每种类型的机器人都有各自的优点。气动机器人擅长简单的定位任务，如在装置间移动零件，气动机器人价格便宜，动作快速且精确，但是它们不擅长复杂的动作，而且能移动的位置有限；电动机器人在定位、焊接及许多其他任务上使用很多，动作快速且精确，但价格比较贵，图 1-1 所示为焊接机器人结构示意图；液压机器人擅长喷漆和其他重复性且繁重的工作，移动快速且平滑，适合用于防爆场合。

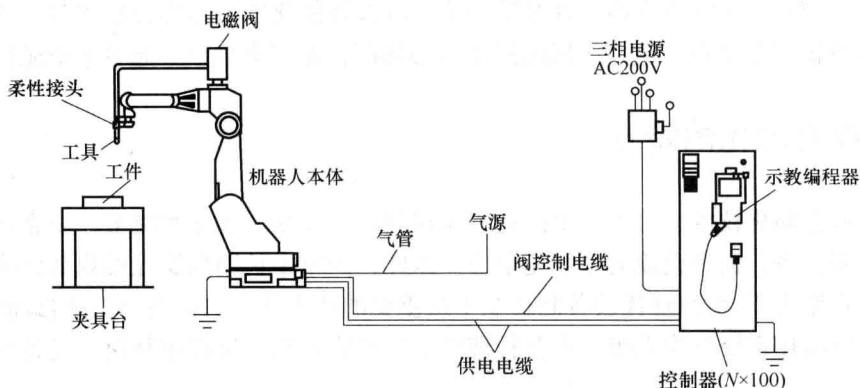


图 1-1 焊接机器人结构示意图

机器人易于编程并集成在自动化控制系统中。许多机器人只是简单地移动到一个位置，用一个键来示教各个位置，其他机器人用专用的机器人编程语言来编程。机器人提供数字（开/关）输入和输出（I/O），这些输入和输出可以十分容易地连接到控制装置上，如 PLC、计算机和其他控制器。图 1-2 所示为 PLC 控制机器人结构示意图。

#### 2. 计算机数控设备

计算机数控（CNC）设备是用计算机控制其运动和动作的设备，计算机技术的飞速发展使其得到了广泛应用。其最常见的 CNC 设备是数控车床和数字加工中心，其他的 CNC 设备还有电火花加工、线切割机等。CNC 设备一般具有三个基本组成部分：控制器、驱动装置和机器本体。

CNC 设备采用程序控制方式，而不再是硬件配线方式。CNC 控制支持程序载入，并能对其进行编辑。最新的计算机控制是开放式 PC 控制，控制功能强大而且十分灵活，能够轻松接入工业以太网当中，许多设备的操作能完全按照预期目标来执行。

数控程序可以由手工编制，也可以由机器自动生成。常用的一种方法是借助于计算机辅助工艺过程设计（CAPP）。编程人员使用特殊的语言或通过屏幕键入方式描述程序结构和刀具轨道，计算机将工具轨道翻译成数控语言，载入到 CNC 设备的控制器中。

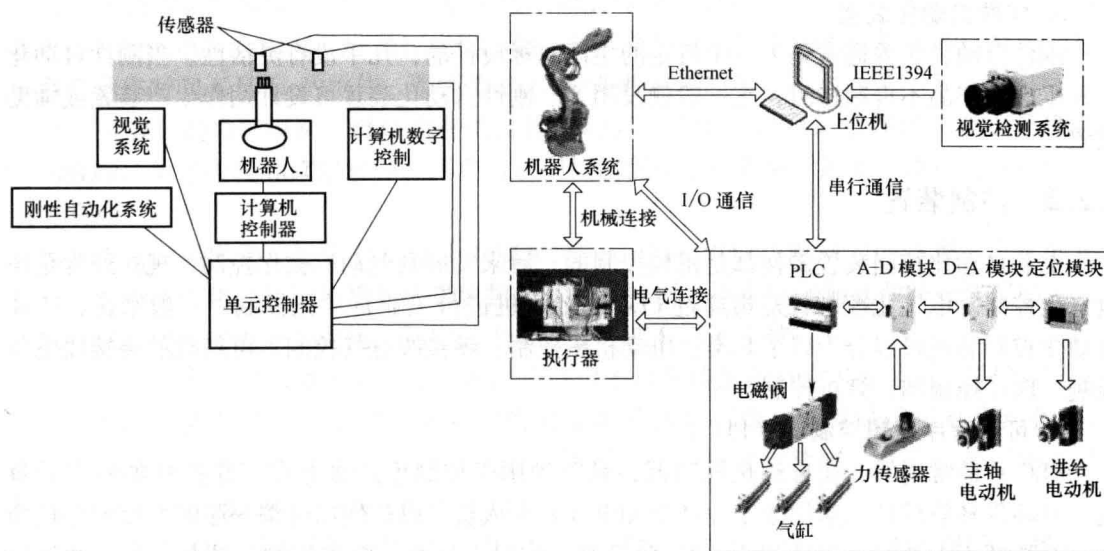


图 1-2 PLC 控制机器人结构示意图

另一种方法是采用传统的符号系统编写程序。在许多系统中，程序以机器语言的形式出现（像 G 编码语言和 M 编码程序），需要编程人员具有较强的编码机器语言基础。例如，G 编码语言指令都有简单的代码和数字编程，其中代码告诉机器执行操作的类型，数字告诉机器移动的距离。如 G01 X20 F10 这条指令表示加工刀具以 10mm/min 的速度沿着 X 轴移动 20mm 的距离。

CNC 设备采用控制器（如 PLC）执行闭环控制程序，并传送指令给驱动器，进而驱动伺服电动机的控制模式，其基本结构如图 1-3 所示。其中，闭环控制分为速度环和位置环，它们的作用是确保机器按照程序要求工作。

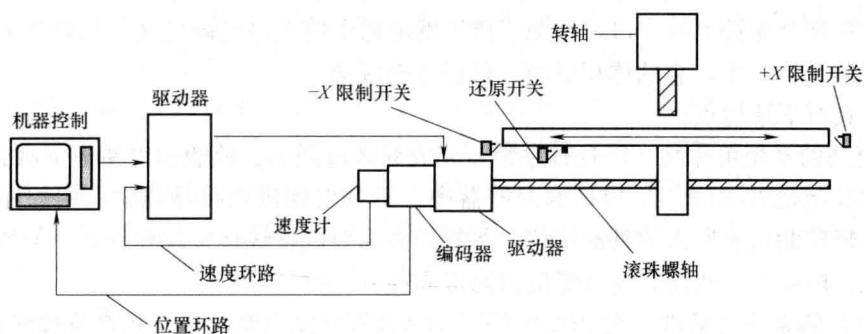


图 1-3 数控系统进给轴伺服控制示意图

随着计算机性能和处理速度的不断提高，使不间断地检测机器运行速度和运行位置成为可能。如果运行中出现故障，机器本该移动却没有移动，计算机立即能够得到错误反馈信息并发出故障指令，这可以避免对机器造成更大的损坏。伺服电动机的优点是在系统中同时使用了动力和反馈机制，提高了主轴速度，提高了精确性和可重复性。

### 3. 刚性自动化装置

刚性自动化装置通常是为一个特定的生产目标设计的,几乎没有灵活性。当刚性自动化装置生产的产品不再制造时,它一般就没用了。刚性自动化装置可设计用作生产装置或辅助装置。

## 1.2.2 控制装置

工业自动化控制装置最初都是机械控制的,后来发展到电动机械控制,现在通常是电气化控制。电气化控制就是指通过 PLC 和计算机进行工业自动化控制。一般来讲,工业自动化控制装置可以分为以下几类:电动机械控制、硬接线电气控制、可编程的硬接线电气控制、PLC 控制和计算机控制。

### 1. 可编程序逻辑控制器 (PLC)

PLC 是最常用的工业自动化控制器,是一种用于控制生产机器和工作过程的特殊计算机,其硬件和软件特别适用于工业环境和电气技术人员。PLC 使用可编程序的存储器存放指令,并按照指令执行,完成相应的开/关控制、定时、计数、顺序控制、算术运算和数据处理等功能。

PLC 是一种集计算机技术、自动控制技术与通信技术为一体的数字运算操作的电子系统。PLC 的开发初衷就是专门针对工业环境,逐步实现从单台设备的控制到整个工厂流程自动化的发展要求。随着软、硬件的设计与开发,使编程过程简单化从而使 PLC 的控制更为灵活,并具有高度的可靠性与抗干扰能力等优点。微电子技术 with 计算机技术的结合,使 PLC 的功能变得更加强大,通过可编程控制的实现,为 PLC 增添了使用上的灵活性。目前 PLC 的应用范围广泛,在工业自动化控制中发挥着不可替代的重要作用,钢铁、化工、石油、机械制造、汽车等领域对 PLC 的依赖程度也越来越高。

PLC 与传统的继电器控制相比具有一系列的优点。继电器控制系统必须有硬接线才能完成特定的功能,当系统控制需求改变时,继电器控制电路的接线也必须做相应的改变或改进,甚至要更换整个控制板。PLC 避免了传统继电器电路大量的硬接线,与具有继电器的工业自动化控制系统相比,它的体积更小,价格也有优势。

PLC 还具有下述优点:

(1) 更高的系统可靠性 一旦程序编写完成并经过调试,就能很容易地下载到 PLC 中。因为所有的控制逻辑都包含在 PLC 的存储器中,不会出现逻辑接线错误。用程序取代了过程中完成逻辑控制功能所需的外部接线,尽管仍然需要硬接线连接现场设备,但数量已大大减少。因此,PLC 与一些固态元件能提供高可靠性。

(2) 更好的系统灵活性 在 PLC 中编写和修改程序比电路的接线和修改接线容易得多。原始设备生产商只需要简单发布出新的程序,就能实现对程序的升级。终端用户可以在现场修改程序,如果需要,还可以提供例如硬件方面的键盘锁或者软件方面的密码等保护功能。

(3) 更低的系统成本 最初设计 PLC 是为了取代继电器控制逻辑,其节省费用的效果已经非常明显。通常,如果一个控制系统中使用了六个以上的继电器,用 PLC 代替则费用会更低。

(4) 通信能力 PLC 能够与其他的控制器或者计算机设备进行通信以完成监控、数据采集、监视设备和过程参数以及下载、上传程序等功能。

(5) 更快的系统响应时间 PLC 是为高速和实时应用而设计的。PLC 的实时控制,指的是现场发生的事件会引起某一操作或输出的执行。每秒处理数千条指令的机器以及识别在传感器前动作时间不足 1s 的物体,都需要 PLC 的快速响应能力。

(6) 更容易的故障识别 PLC 固有的自诊断功能,使用户很容易地找出并改正软件和硬件的故障。为了查找和确定故障,用户可以把控制程序显示在显示屏上,并在它执行时进行实时观察。

控制模式的多样化发展是 PLC 进步的成果之一,也是 PLC 功能强大的体现。PLC 的功能也有了本质的变化,从最初简单的逻辑控制、顺序控制,逐步进化到复杂的连续控制和过程控制领域,PLC 在工业自动化控制中的主要控制模式有以下几种:

(1) 顺序控制 随着技术的进步,顺序控制也不再是传统的继电器触点式控制模式了,而是通过 PLC 触点的状态信息来实现。只需要简单的执行指令,就可以进行有序的控制,这是 PLC 设计的初衷,是 PLC 基本功能优势的体现,在顺序控制领域,PLC 已经领先于其他技术,在工业领域发挥着不可替代的作用。

(2) 过程控制 过程控制是针对模拟量的工作过程,是通过对连续变化的电流、电压、温度、压力等模拟量的当前与历史输入状况的分析,产生用户要求的开关量,使系统工作参数能够按一定要求工作。过程控制的代表类型是开环控制与闭环控制,这种控制手段在冶金、化工、电力控制等方面的应用效果都非常明显。

(3) 运动控制 机械的运动特性为 PLC 的控制提出了新的要求,在控制对象的直线运动或者圆周运动等情况下,PLC 可以利用对脉冲量的控制来实现机械的运动控制。脉冲控制的位移量很小,因此,PLC 运动控制的精确度也很高。

(4) 信息控制 信息控制实现的是数据处理的功能,通过对信息的采集、处理、存储与传输,实现信息控制的目的,并兼具数据分析能力。信息时代的发展要求,赋予了 PLC 的控制工作新的信息属性,信息控制的实现也标志着 PLC 信息化功能的转变。

(5) 远程控制 利用 PLC 的通信接口与联网模块的通信功能,可以实现 PLC 的远程控制。控制方式主要有 PLC 与 PLC 控制网的远程互联控制,PLC 与智能终端的互联来实现的远程控制,还有 PLC 与计算机终端、以太网的连接控制方式等。

随着电子技术和计算机技术的不断进步,PLC 也经历了突飞猛进的发展,PLC 应用领域的扩大和对 PLC 功能需求的提高,不但使 PLC 的功能更加完善,也使 PLC 实际应用中存在的问题得到深入的研究和讨论。通信功能的日益完善为工业生产的远程控制提供了更加可靠的数据传输,从而适合更加复杂的工业生产场合。PLC 在工业领域作用的日益重大,不但是今后工业自动化发展的有力支撑,也是工业化生产的主要依托。

## 2. 分散控制系统 (DCS)

工业自动化控制系统可以分为单机控制、集中控制和分散控制。

单机控制系统用于控制一个单独的机器,一般不需要与其他的控制器通信。集中控制系统就是用一台中央控制器控制几台设备或几个进程,控制过程中的每一个环节都需要通过中央控制器控制,控制器之间没有状态和信息的交换。分散控制系统 DCS (Distributed Control System, DCS, 国内一般习惯称为集散控制系统) 与集中控制不同,每台设备都是通过专有的控制系统控制。每个专有控制系统都是完全独立的,如果不需要它担当制造功能时,可以直接从控制系统中去除。分散控制由两台或多台计算机之间的通信来完成全部控制任务。

DCS 是一个由过程控制级和过程监控级组成的以通信网络为纽带的多级计算机系统,综合了计算机 (Computer)、通信 (Communication)、显示 (CRT) 和控制 (Control) 等 4C 技术,其基本思想是分散控制、集中操作、分级管理、配置灵活、组态方便,与常规的集中控制系统相比有如下特点:

(1) 高可靠性 由于 DCS 将系统控制功能分散在各台计算机上实现,系统结构采用容错设计,因此某一台计算机出现的故障不会导致系统其他功能的丧失。此外,由于系统中各台计算机所承担的任务比较单一,可以针对需要实现的功能采用具有特定结构和软件的专用计算机,从而使系统中每台计算机的可靠性也得到提高。

(2) 开放性 DCS 采用开放式、标准化、模块化和系列化设计,系统中各台计算机采用局域网方式通信,实现信息传输,当需要改变或扩充系统功能时,可将新增计算机方便地连入系统通信网络或从网络中卸下,几乎不影响系统其他计算机的工作。

(3) 灵活性 通过组态软件根据不同的流程应用对象进行软硬件组态,即确定测量与控制信号及相互间连接关系,从控制算法库选择适用的控制规律以及从图形库调用基本图形组成所需的各种监控和报警画面,从而方便地构成所需的控制系统。

(4) 易于维护 功能单一的小型或微型专用计算机,具有维护简单、方便的特点,当某一局部或某台计算机出现故障时,可以在不影响整个系统运行的情况下在线更换,迅速排除故障。

(5) 协调性 各工作站之间通过通信网络传送各种数据,整个系统信息共享,协调工作,以完成控制系统的总体功能和优化处理。

(6) 控制功能齐全 控制算法丰富,集连续控制、顺序控制和批处理控制于一体,可实现串级、前馈、解耦、自适应和预测控制等先进控制,并可方便地加入所需的特殊控制算法。

DCS 的构成方式十分灵活,可由专用的管理计算机站、操作员站、工程师站、记录站、现场控制站和数据采集站等组成,也可由通用的服务器、工业控制计算机和 PLC 构成。处于底层的过程控制级一般由分散的现场控制站、数据采集站等就地实现数据采集和控制,并通过数据通信网络传送到生产监控级计算机。过程监控级对来自过程控制级的数据进行集中操作管理,如各种优化计算、统计报表、故障诊断、显示报警等。随着计算机技术的发展,DCS 可以按照需要与更高性能的计算机设备通过网络连接来实现更高级的集中管理功能,如计划调度、仓储管理、能源管理等。

从结构上划分,DCS 包括过程级、操作级和管理级。过程级主要由过程控制站、I/O 单元和现场仪表组成,是系统控制功能的主要实施部分。DCS 的过程控制站是一个完整的计算机系统,主要由电源、CPU (中央处理器)、网络接口和 I/O 组成。DCS 的控制决策是由过程控制站完成的,所以控制程序是由过程控制站执行的。DCS 中的 I/O 一般是模块化的,一个 I/O 模块上有一个或多个 I/O 通道,用来连接传感器和执行器 (调节阀)。通常,一个过程控制站是有几个机架组成,每个机架可以摆放一定数量的模块。CPU 所在的机架被称为 CPU 单元,同一个过程站中只能有一个 CPU 单元,其他只用来摆放 I/O 模块的机架就是 I/O 单元。操作级包括操作员站和工程师站,完成系统的操作和组态。管理级主要是指工厂管理信息系统 (MIS)。图 1-4 是一台主机监控的 DCS 示意图。

DCS 在发展的过程中也是各厂家自成体系,但大部分的 DCS,比如横河 YOKOGAWA、

霍尼维尔、ABB 等, 虽说系统内部(过程级)的通信协议不尽相同, 但操作级的网络平台不约而同地选择了以太网, 采用标准或变形的 TCP/IP。这样就提供了方便的可扩展能力。在这种网络中, 控制器、计算机均作为一个节点存在, 只要网络到达的地方, 就可以随意增减节点数量和布置节点位置。另外, 基于 Windows 系统的 OPC、DDE 等开放协议, 各系统也可很方便地通信, 以实现资源共享。

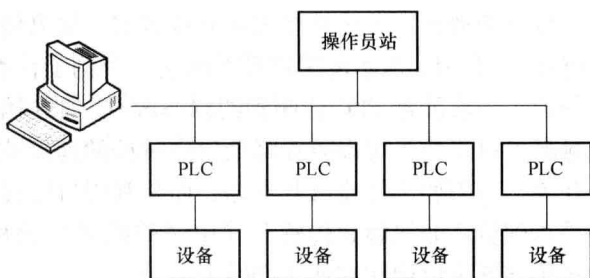


图 1-4 DCS 示意图

### 1.2.3 反馈装置

如上所述, 工业自动化系统使用 PLC 来控制一系列设备的运行。PLC 的控制精度高、速度快。但是 PLC 本身不能获得被控设备运行的状态, 如果由于某些中间因素导致设备的运行结果不是理想的被控值, PLC 是无法对误差进行修正的, 那么生产的产品自然是不合格的。因此, 工业自动化控制系统需要反馈装置来对加工过程进行实时监控, 利用工业传感器监测生产过程, 如部件是否到位, 部件尺寸的大小等。例如, 使用视觉系统检测产品质量。

工业传感器的作用是获取信息并产生反馈数据。在工业自动化控制领域中, 自动化程度越高, 控制系统对传感器的依赖性就越大。传感器是一种检测装置, 不仅能感受被测量的信息, 还能检测出感受到的信息。传感器能够按一定规律将被测量转换成电信号等输出形式, 以满足信息传输、信息处理、信息存储、显示、记录及控制的需要。传感器的输出与输入之间存在确定的关系, 并能达到一定的测量准确度、线性度和灵敏度指标。图 1-5 是传感器与转换器的功能示意图。

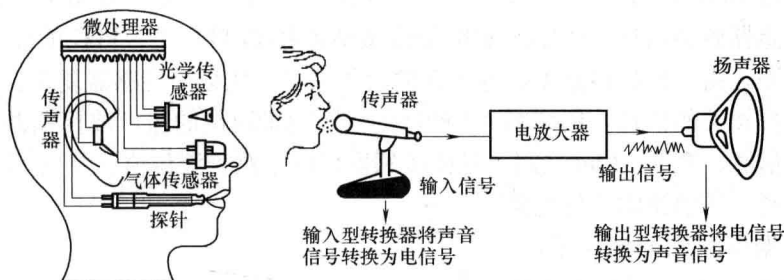


图 1-5 传感器与转换器的功能示意图

传感器一般由敏感器件和其他辅助器件组成。敏感器件是传感器的核心, 它的作用是直接感受被测量, 并将信号进行必要的转换输出。如应变式压力传感器的弹性膜片是敏感器件, 它的作用是将压力转换成弹性膜片的形变, 并将弹性膜片的形变转换成电阻的变化而输出。一般将信号调理与转换电路归为辅助器件, 它们是一些能将敏感器件输出的电信号转换为便于显示、记录、处理等有用的电信号的装置。

传感器的种类很多, 在工业自动化系统中, 一种物理量可以用不同类型的传感器来检测, 而同一类型的传感器也可测量不同的物理量。

传感器通常可分为接触式和非接触式。如果传感器必须与感知对象相接触，就是接触式传感器，图 1-6a 所示的限位开关就是一个例子，当工件接触到限位开关时，开关改变状态，就创建了一次能被 PLC 检测到的状态改变。非接触式传感器不需要与感知对象有物理上的接触就可以工作，可以避免降低生产过程的速度或干扰生产过程。如图 1-6b 中的感应式接近开关，不需要工件碰触其本体，而是利用目标接近传感器时改变了振荡器的振幅来检测工件是否到位。非接触式传感器（电子传感器）比机械设备更可靠，更不易出错，所以非接触式传感器可以用在高速生产线上。

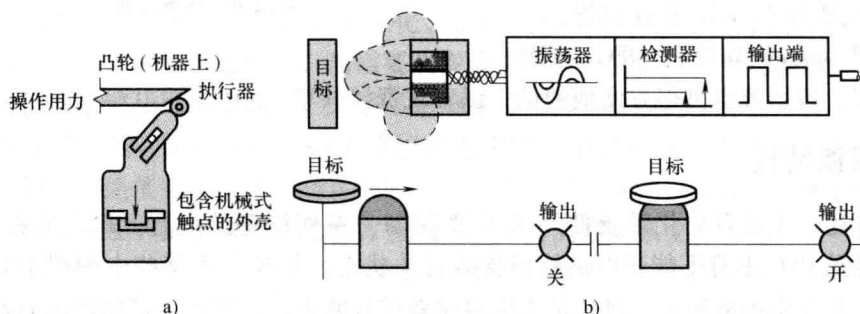


图 1-6 接触式与非接触式传感器

a) 接触式传感器（限位开关） b) 非接触式传感器的原理

传感器还可以分为数字传感器和模拟传感器。数字传感器有两种状态：“断开”和“闭合”。大多数的应用都包括计算过程，而计算是数字传感器所擅长的，数字传感器比模拟传感器简单，更容易使用，这也是数字传感器获得广泛应用的一个原因。数字输出传感器也使用开、关逻辑。它们通常使用晶体管输出，如果传感器检测到某物体，晶体管打开，电流通过，传感器的输出就可以连接到 PLC 的输入端。大多数数字传感器的输出门限电流是很低的，一般不超过 100mA，在打开电源前，应该先检查一下传感器，输出电流必须在门限值以下，否则传感器就会损坏。所以，如果把传感器连接到 PLC 上，PLC 的输入将会把电流限制在安全范围之内。模拟传感器也称线性输出传感器，比数字传感器复杂，但可以提供更多的与生产过程相关的信息。例如图 1-7 所示的一个测量液位的超声波传感器，它要测量的液位值是模拟信息，在 5~30m 之间。模拟传感器可以检测到液位值，并向 PLC 输出相应的电流。液位越高，传感器输出的电流值也越高。根据探测到的液位不同，模拟传感器的输出在 4~20mA 之间变化。数字传感器的输出只有 0、1 两个值，而模拟传感器则可以提供在最大和最小值之间变化的很多数值，所以 PLC 可以准确地获得温度值，从而更好地控制生产过程。

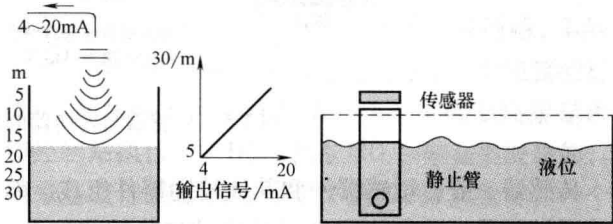


图 1-7 测量液位的超声波传感器

按被测物理量划分，常见的传感器类型有温度传感器、湿度传感器、压力传感器、位移传感器、流量传感器、液位传感器、力传感器、加速度传感器和转矩传感器等。

按工作原理划分，常见的传感器类型有：

## 1. 电学式传感器

电学式传感器是非电量电测技术中应用范围较广的一种传感器，常用的有电阻式传感器、电容式传感器、电感式传感器、磁电式传感器及电涡流式传感器等。

(1) 电阻式传感器 电阻式传感器是利用变阻器将被测非电量转换为电阻信号的原理制成的。电阻式传感器一般有电位器式、触点变阻式、电阻应变片式及压阻式传感器等。电阻式传感器主要用于位移、压力、力、应变、力矩、气流流速、液位和液体流量等参数的测量。图 1-8 所示为电阻应变片的结构及其测量电路。加在应变片上的力使应变片发生弯曲，其物理形状发生改变，从而导致其阻值发生变化。桥式电路用于探测应变片的阻值所发生的微小变化。

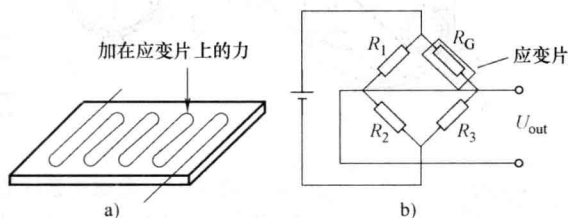


图 1-8 电阻应变片的结构及其测量电路

a) 金属丝型 b) 桥式测量电路

(2) 电容式传感器 电容式传感器是利用改变电容的几何尺寸或改变介质的性质和含量，从而使电容量发生变化的原理制成的，主要用于压力、位移、液位、厚度、水分含量等参数的测量。如图 1-9 所示，电容式传感器的激活面由两个金属电极构成——如同一个断开的电容。如有物体靠近该电容，它将产生耦合电容并产生振荡，从而给出信号。利用电容式传感器可以在玻璃或塑料容器的外部控制液体的填充过程。

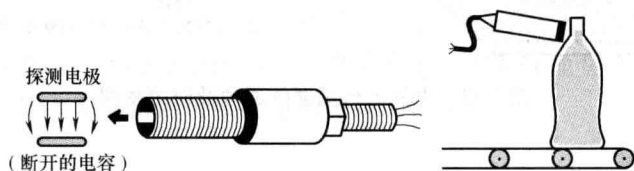


图 1-9 电容式传感器结构及应用举例

(3) 电感式传感器 电感式传感器是利用改变磁路几何尺寸、磁体位置来改变电感或互感的电感量或压磁效应原理制成的，主要用于位移、压力、力、振动和加速度等参数的测量。如图 1-10 所示，电感式传感器的振荡器产生一个微弱的磁场，当物体进入这个磁场时，磁场受到的干扰被传感器检测到并产生相应的输出。

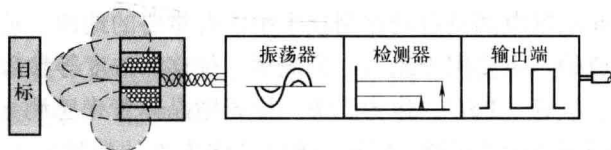


图 1-10 电感式传感器结构与功能示意图

(4) 磁电式传感器 磁电式传感器是利用电磁感应原理，把被测非电量转换成电量制成的，主要用于流量、转速和位移等参数的测量。

图 1-11 所示为电磁流量计的结构及应用举例。电磁流量计安装在流体管道外壁上，通

过液体的流动产生感应电信号，且不会限制液体流动。

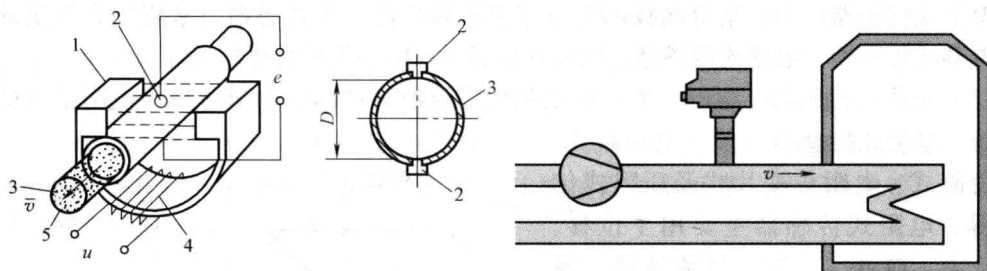


图 1-11 电磁流量计的结构及应用举例

1—铁心 2—电极 3—绝缘导管 4—励磁线圈 5—液体

(5) 电涡流式传感器 电涡流式传感器是利用金属在磁场中运动切割磁力线，在金属内形成涡流的原理制成的，主要用于位移及厚度等参数的测量。图 1-12 所示为电涡流传感器的原理及应用举例。

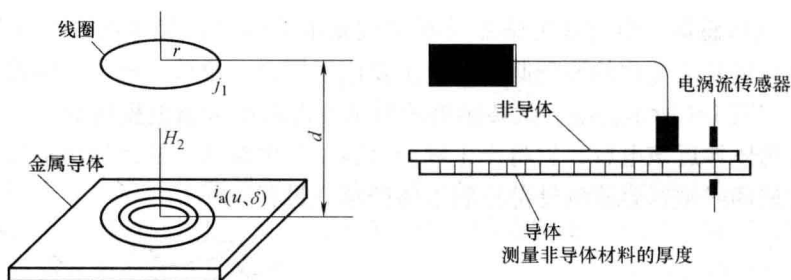


图 1-12 电涡流传感器的原理及应用举例

## 2. 磁学式传感器

磁学式传感器是利用铁磁物质的一些物理效应而制成的，主要用于位移、转矩等参数的测量。图 1-13 所示为一个磁性传感器用来测量轴的转速。磁体依附在轴上，每当磁体通过，绕制在磁体上的线圈就会接收到一个脉冲。通过测量脉冲的频率，可以确定轴的转速。

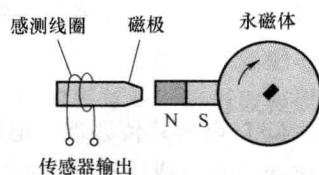


图 1-13 磁性传感器原理图

## 3. 光电式传感器

光电式传感器在非电量电测及自动控制技术中占有重要的地位。它是利用光电器件的光电效应和光学原理制成的，主要用于光强、光通量、位移和浓度等参数的测量。大多数工业光电传感器使用发光二极管 (LED) 作为光源，用光敏晶体管来感测光源。如图 1-14 所示，由 LED 发出的光照在光敏晶体管的输入端，通过晶体管光的数量发生了变化。通过光检测器，模拟输出端将按照可见光的量提供一定比例的输出信号。反射型光电传感器用于探测从目标反射回来的光束；透射型光电传感器用于测量由于目标通过光轴时所引起的光量的变化。

## 4. 电势型传感器

电势型传感器是利用热电效应、光电效应和霍尔效应等原理制成的，主要用于温度、磁

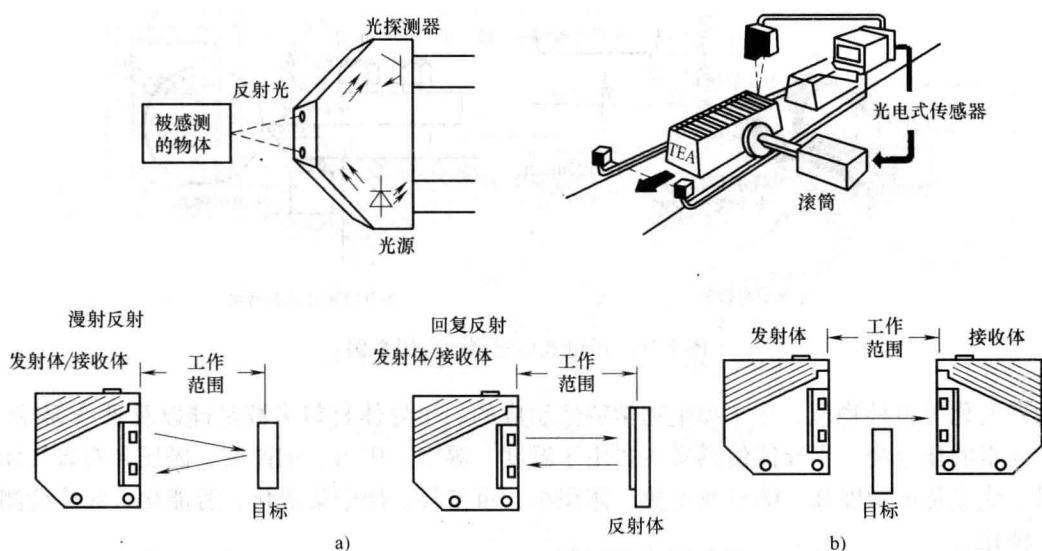


图 1-14 光电式传感器的原理、类型及应用举例

a) 反射型 b) 透射型

通、电流、速度、光强和热辐射等参数的测量。图 1-15 所示为霍尔传感器的原理图及测量转速的应用。半导体薄片置于磁感应强度为  $B$  的磁场中，磁场方向垂直于薄片，当有电流  $I$  流过薄片时，在垂直于电流和磁场的方向上将产生电动势  $E$ ，这种现象称为霍尔效应。在被测转速的转轴上安装一个齿盘，也可选取机械系统中的一个齿轮，将线性型霍尔元件及磁路系统靠近齿盘。齿盘的转动使磁路的磁阻随气隙的改变而周期性地变化，霍尔元件输出的微小脉冲信号经隔直、放大和整形后可以确定被测物的转速。

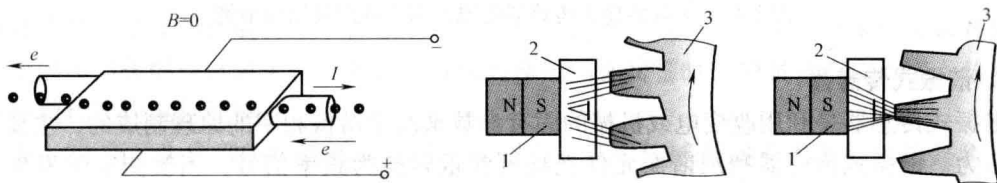


图 1-15 霍尔传感器原理图及测量转速应用

1—磁体 2—霍尔元件 3—齿圈

## 5. 电荷传感器

电荷传感器是利用压电效应原理制成的，主要用于力及加速度的测量。在外力作用下，压电式传感器在电介质表面产生电荷，从而实现非电量电测的目的。压电传感元件是力敏感元件，它可以测量最终能变换为力的那些非电物理量，例如动态力、动态压力、振动加速度等，但不能用于静态参数的测量。压电式传感器中的压电元件材料一般有三类：一类是压电晶体（如上述的石英晶体）；另一类是经过极化处理的压电陶瓷；第三类是高分子压电材料。图 1-16 所示为压电式传感器的应用举例。

## 6. 半导体传感器

半导体传感器是利用半导体的压阻效应、内光电效应、磁电效应、半导体与气体接触产