

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

# 电气控制与PLC

胡国文 顾春雷 杨晓冬 编著

- 内容新颖：新知识、新技术、新工艺
- 特色鲜明：突出“应用、实践、创新”
- 定位准确：面向工程技术型人才培养
- 质量上乘：应用型本科专家全力打造



西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

应用型本科 电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

# 电气控制与 PLC

胡国文 顾春雷 杨晓冬 编著

西安电子科技大学出版社

## 内 容 简 介

本书是作者在多年来从事专业教学和工程设计及科研工作实践的基础上编写而成的。

全书共分为 11 章。主要内容有：绪论、电气控制系统常用低压电器及其图形和文字符号、电气控制常用继电器接触控制线路与典型控制系统分析、可编程序控制器(PLC)的组成及工作原理、三菱 FX 系列小型 PLC 及编程方法、三菱 FX 系列 PLC 的步进顺序控制和数据控制功能、西门子 S7-200 系列 PLC 及编程方法、西门子 S7-200 系列 PLC 的步进顺序控制和数据控制功能、西门子 S7-300 系列 PLC 及编程方法、PLC 的联网及通信技术、PLC 在工业电气控制系统中的应用与分析、工业电气自动化设备的电气控制系统设计等。

本书可作为普通高等学校电气工程及其自动化、自动化、机械制造及其自动化等本科专业的专业核心课程教材，也可作为高职院校电气工程及其自动化等专业的参考教材，还可作为相关专业技术人员的培训教材和参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

电气控制与 PLC/胡国文, 顾春雷, 杨晓冬编著. —西安: 西安电子科技大学出版社, 2016. 12

应用型本科电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5606-4252-9

I. ① 电… II. ① 胡… ② 顾… ③ 杨… III. ① 电气控制—高等学校—教材  
② PLC 技术—高等学校—教材 IV. ① TM571.2 ② TM571.61

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 272086 号

策 划 马晓娟

责任编辑 曹 锦 马武装

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西大江印务有限公司

版 次 2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 19

字 数 444 千字

印 数 1~3000 册

定 价 34.00 元

ISBN 978-7-5606-4252-9/TM

**XDUP 4544001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

# 前 言

随着工业自动化、智能化以及制造业自动化和智能化、制造业的转型升级,纵观《工业 4.0》和《中国制造 2025》的形势发展,对电气控制与 PLC 技术将会不断提出新的要求,而可编程序控制器(PLC)技术正是其中关键性技术内容。

“电气控制与 PLC”是电气工程及其自动化、自动化、机械制造及其自动化等专业的一门重要的专业核心课程。该课程教学总学时(含实验学时)建议为 48~70 学时,有关不同系列 PLC 的内容可根据各高校实际情况选学。

本书是作者在多年来从事该方面的教学和工程设计及科研工作实践的基础上,根据电气工程与自动化领域的形势发展要求,为适应该领域工程本科应用型人才的培养要求和工程实际需要而编写的。在编写过程中,本着培养面向 21 世纪高层次本科应用型人才的要求,在注重系统性、理论性、适用性的基础上,充分注重设计及应用能力的提高及创新能力的培养;尽可能地正确处理基础理论与应用之间的关系,使基础理论为应用服务;注重加强工程设计应用能力的提高;注重最新知识和最新技术的介绍。其目的是让读者将现代电气控制与 PLC 控制技术的基本知识有效地应用于工业自动化领域的电气控制系统中,以获得电气控制与 PLC 控制技术的基本应用能力和基本设计能力。

本书主要的知识点有:电气控制系统常用电磁式开关电器的工作原理及选择方法;电气控制系统线路的绘图规则与图形符号及文字符号;电气设备电气控制系统常用典型控制环节;电气继电接触控制系统的设计方法;典型电气设备电气控制线路分析;可编程序控制器(PLC)的组成及工作原理;常用典型系列小型 PLC 及编程方法;常用典型系列 PLC 的步进顺序控制和数据控制功能;PLC 在工业自动化电气控制系统中的应用与控制系统分析;工业电气自动化设备的电气控制系统设计等。

本书的前言、目录和附录、绪论、第 1、3、4、5、6、7、9(9.1 和 9.2 节)、10、11 章由住房和城乡建设部全国高校建筑电气与智能化学科专业教学指导委员会委员、第二届中国机械工业教育协会全国高校电气工程与自动化(本科应用型)教学指导委员会副主任委员和第三届中国机械工业教育协会全国高校建筑电气与智能化专业教学指导委员会副主任委员胡国文教授负责编写;第 2 章由盐城工学院电气工程学院顾春雷副教授负责编写;第 8、9 章(9.3 节)由盐

城工学院电气工程学院讲师杨晓冬博士负责编写。全书由胡国文教授负责统稿。

在本书编写过程中，得到了西安电子科技大学出版社的支持和指导，得到了盐城工学院电气工程及其自动化专业江苏省“十二五”省级重点建设专业的建设基金的支持以及盐城工学院自动化专业江苏省省卓越工程师专业建设基金的重点支持，同时参考和引用了相关参考文献及网站资料，作者在此一并表示诚挚的谢意。

由于作者水平有限，书中不足之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

作 者

2016 年 7 月

**西安电子科技大学出版社**  
**应用型本科 电气工程及其自动化专业“十三五”规划教材**  
**编审专家委员会名单**

**主 任：**汪志锋(上海第二工业大学工学部 副部长/教授)

**副主任：**罗印升(江苏理工学院 电气信息工程学院 院长/教授)

刘 燕(常熟理工学院 电气与自动化工程学院 教授)

胡国文(盐城工学院 电气工程学院 院长/教授)

**成 员：**(按姓氏拼音排列)

陈 桂(南京工程学院 自动化学院 副院长/副教授)

杜逸鸣(三江学院 电气与自动化工程学院 副院长/副教授)

邓 琛(上海工程技术大学 电子电气工程学院 副院长/教授)

段锁林(常州大学 电气工程及其自动化系 主任/教授)

高 亮(上海电力学院 电气工程学院 副院长/教授)

姜 平(南通大学 电气工程学院 副院长/教授)

吴薛红(南京师范大学 电气与自动化工程学院 副院长/副教授)

王志萍(上海电力学院 自动化工程学院 副院长/副教授)

杨亚萍(浙江万里学院 电子信息学院 副院长/副教授)

郁有文(南通理工学院 机电系 教授)

邹一琴(常州工学院 电子信息与电气工程学院 副院长/副教授)

张宇林(淮阴工学院 电子与电气工程学院 副院长/教授)

周渊深(淮海工学院 电子工程学院 副院长/教授)

# 目 录

|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 绪论                          | 1  |
| 第 1 章 电气控制系统常用低压电器及其图形和文字符号 | 4  |
| 1.1 电气控制系统常用低压电器的分类和基本知识    | 4  |
| 1.1.1 常用低压电器的定义和分类          | 4  |
| 1.1.2 常用低压电器的基本知识           | 5  |
| 1.2 电气控制系统常用低压开关电器的结构原理和选择  | 7  |
| 1.2.1 低压刀开关的结构原理和选择         | 7  |
| 1.2.2 低压断路器的结构原理和选择         | 11 |
| 1.2.3 智能化断路器的结构原理及优点        | 13 |
| 1.2.4 漏电保护断路器的结构原理及应用       | 14 |
| 1.3 电气系统常用低压熔断器的结构原理和选择     | 15 |
| 1.3.1 常用低压熔断器的原理结构和分类       | 16 |
| 1.3.2 常用低压熔断器及选择            | 16 |
| 1.4 电气控制系统常用主令电器            | 20 |
| 1.4.1 常用按钮                  | 20 |
| 1.4.2 常用行程开关和接近开关           | 21 |
| 1.4.3 常用万能转换开关和主令控制器        | 23 |
| 1.5 电气控制系统常用接触器             | 25 |
| 1.5.1 交流接触器的组成              | 25 |
| 1.5.2 交流接触器的型号和选择方法         | 26 |
| 1.6 电气控制系统常用控制继电器           | 27 |
| 1.6.1 电磁式继电器                | 27 |
| 1.6.2 中间继电器                 | 28 |
| 1.6.3 常用电流继电器和电压继电器         | 29 |
| 1.6.4 热继电器                  | 30 |
| 1.6.5 时间继电器                 | 31 |
| 1.6.6 速度继电器                 | 33 |
| 1.6.7 液位继电器和压力继电器           | 34 |
| 1.7 电气控制常用其他低压电器            | 35 |
| 1.7.1 常用控制电磁铁               | 35 |
| 1.7.2 常用其他低压控制电器            | 36 |
| 1.8 电气元件的图形符号和文字符号          | 37 |
| 1.8.1 电气元件的图形符号             | 37 |
| 1.8.2 电气元件的文字符号             | 38 |
| 思考题与习题 1                    | 38 |

|                                      |    |
|--------------------------------------|----|
| <b>第 2 章 电气控制常用继电接触控制线路与典型控制系统分析</b> | 40 |
| 2.1 电气控制常用继电接触控制的基本线路                | 40 |
| 2.1.1 点动控制和连续控制                      | 40 |
| 2.1.2 多地控制和互锁控制                      | 42 |
| 2.1.3 行程控制                           | 44 |
| 2.1.4 时间控制和速度控制                      | 46 |
| 2.2 电气设备继电接触控制常用线路                   | 46 |
| 2.2.1 三相异步电动机的启动控制线路                 | 46 |
| 2.2.2 三相异步电动机的制动控制线路                 | 51 |
| 2.2.3 三相异步电动机调速控制线路                  | 54 |
| 2.2.4 变频器及其继电接触控制线路                  | 57 |
| 2.3 继电接触控制线路分析方法                     | 60 |
| 2.3.1 电气原理图的基本分析方法与步骤                | 60 |
| 2.3.2 继电接触控制原理图的查线读图法                | 61 |
| 2.4 电气设备典型继电接触控制系统分析                 | 62 |
| 2.4.1 电梯的继电接触控制系统分析                  | 62 |
| 2.4.2 变频调速恒压供水继电接触控制系统分析             | 66 |
| 思考题与习题 2                             | 68 |
| <b>第 3 章 可程序控制器(PLC)的组成及工作原理</b>     | 70 |
| 3.1 PLC 概述                           | 70 |
| 3.2 PLC 的基本硬件组成                      | 72 |
| 3.2.1 PLC 的基本结构                      | 72 |
| 3.2.2 中央处理器和存储器                      | 73 |
| 3.2.3 输入/输出接口电路                      | 74 |
| 3.2.4 模拟量输入/输出模块                     | 75 |
| 3.2.5 其他硬件模块和接口                      | 76 |
| 3.3 PLC 的工作原理和常用编程语言                 | 77 |
| 3.3.1 PLC 控制系统的组成                    | 77 |
| 3.3.2 PLC 的工作原理                      | 78 |
| 3.3.3 PLC 常用的编程语言                    | 79 |
| 思考题与习题 3                             | 82 |
| <b>第 4 章 三菱 FX 系列小型 PLC 及编程方法</b>    | 83 |
| 4.1 三菱 FX 系列小型 PLC 的性能特点和硬件          | 83 |
| 4.1.1 三菱 FX 系列 PLC 的性能特点和型号含义        | 83 |
| 4.1.2 三菱 FX2N 系列 PLC 硬件简介            | 84 |
| 4.2 三菱 FX 系列 PLC 中的编程元件              | 86 |
| 4.2.1 输入继电器(X)和输出继电器(Y)              | 86 |

|              |                                    |            |
|--------------|------------------------------------|------------|
| 4.2.2        | 辅助继电器(M)                           | 87         |
| 4.2.3        | 状态继电器(S)                           | 89         |
| 4.2.4        | 定时器(T)                             | 90         |
| 4.2.5        | 计数器(C)                             | 91         |
| 4.2.6        | 数据寄存器(D)                           | 95         |
| 4.3          | 三菱 FX 系列 PLC 的基本指令及编程方法            | 96         |
| 4.3.1        | 基本指令介绍                             | 97         |
| 4.3.2        | 基本指令控制程序设计及编程方法                    | 113        |
| 4.4          | 基本指令的应用和编程实例                       | 117        |
| 4.4.1        | 异步电动机 Y- $\Delta$ 降压启动的 PLC 控制电路   | 117        |
| 4.4.2        | 异步电动机正/反转的 PLC 控制电路                | 118        |
|              | 思考题与习题 4                           | 119        |
| <b>第 5 章</b> | <b>三菱 FX 系列 PLC 的步进顺序控制和数据控制功能</b> | <b>123</b> |
| 5.1          | 三菱 FX 系列 PLC 的步进顺序控制               | 123        |
| 5.1.1        | 步进顺序控制指令                           | 123        |
| 5.1.2        | 单分支的状态转移图和步进梯形图                    | 124        |
| 5.1.3        | 多分支的状态转移图和步进梯形图                    | 125        |
| 5.2          | 步进顺序控制的应用和编程实例                     | 127        |
| 5.2.1        | 运料小车自动往返控制                         | 127        |
| 5.2.2        | 物料自动混合装置步进顺序控制                     | 128        |
| 5.3          | 三菱 FX 系列 PLC 的功能指令和数据控制功能          | 130        |
| 5.3.1        | 三菱 FX 系列 PLC 的数据控制功能和功能指令简介        | 130        |
| 5.3.2        | 三菱 FX 系列 PLC 功能指令的表达形式             | 131        |
| 5.4          | 三菱 FX 系列 PLC 的基本功能指令               | 133        |
| 5.4.1        | 程序流控制指令                            | 133        |
| 5.4.2        | 数据传送及比较指令                          | 137        |
| 5.4.3        | 四则运算及逻辑运算指令                        | 139        |
| 5.4.4        | 外部设备 SER 指令                        | 141        |
|              | 思考题与习题 5                           | 145        |
| <b>第 6 章</b> | <b>西门子 S7-200 系列 PLC 及编程方法</b>     | <b>149</b> |
| 6.1          | S7-200 系列 PLC 的硬件组成                | 149        |
| 6.1.1        | S7-200 系列 PLC 系统的基本构成              | 149        |
| 6.1.2        | S7-200 系列 PLC 的 CPU 模块             | 150        |
| 6.1.3        | 数字量扩展模块                            | 153        |
| 6.1.4        | 模拟量扩展模块                            | 154        |
| 6.1.5        | 其他扩展模块                             | 156        |
| 6.2          | S7-200 系列 PLC 的内部元件及其编址方式          | 156        |

|              |                                               |            |
|--------------|-----------------------------------------------|------------|
| 6.2.1        | S7-200 的数据类型 .....                            | 156        |
| 6.2.2        | S7-200 PLC 内部元件及其编址方式 .....                   | 156        |
| 6.2.3        | S7-200 PLC 的硬件系统配置 .....                      | 162        |
| 6.3          | S7-200 系列 PLC 的基本逻辑指令 .....                   | 163        |
| 6.3.1        | 位逻辑指令 .....                                   | 164        |
| 6.3.2        | 输出指令和逻辑块操作指令 .....                            | 165        |
| 6.3.3        | 堆栈指令和 RS 触发器指令 .....                          | 167        |
| 6.3.4        | 基本逻辑指令程序举例 .....                              | 169        |
| 6.4          | S7-200 系列 PLC 的定时器指令与计数器指令 .....              | 171        |
| 6.4.1        | 定时器指令 .....                                   | 171        |
| 6.4.2        | 计数器指令 .....                                   | 173        |
|              | 思考题与习题 6 .....                                | 174        |
| <b>第 7 章</b> | <b>西门子 S7-200 系列 PLC 的步进顺序控制和数据控制功能 .....</b> | <b>176</b> |
| 7.1          | S7-200 系列 PLC 的步进控制指令及顺序控制 .....              | 176        |
| 7.1.1        | 步进控制指令 .....                                  | 176        |
| 7.1.2        | 功能图与顺序控制程序设计 .....                            | 177        |
| 7.1.3        | 步进控制指令应用举例 .....                              | 180        |
| 7.2          | S7-200 系列 PLC 的比较指令 .....                     | 183        |
| 7.2.1        | 比较指令的指令形式 .....                               | 183        |
| 7.2.2        | 比较指令程序设计举例 .....                              | 184        |
| 7.3          | S7-200 系列 PLC 的一般功能指令 .....                   | 184        |
| 7.3.1        | 数据处理指令 .....                                  | 184        |
| 7.3.2        | 数据运算类指令 .....                                 | 189        |
| 7.3.3        | 逻辑运算类指令 .....                                 | 196        |
| 7.3.4        | 移位指令 .....                                    | 198        |
|              | 思考题与习题 7 .....                                | 202        |
| <b>第 8 章</b> | <b>西门子 S7-300 系列 PLC 及编程方法 .....</b>          | <b>204</b> |
| 8.1          | S7-300 系列 PLC 的硬件组成 .....                     | 204        |
| 8.1.1        | S7-300 系列 PLC 系统的基本构成 .....                   | 204        |
| 8.1.2        | S7-300 系列 PLC 系统的 CPU 模块 .....                | 205        |
| 8.1.3        | S7-300 系列 PLC 系统的信号模块 .....                   | 206        |
| 8.1.4        | 其他扩展模块 .....                                  | 208        |
| 8.2          | S7-300 系列 PLC 的数据类型和内部元件及其编址方式 .....          | 209        |
| 8.2.1        | S7-300PLC 的数据类型 .....                         | 209        |
| 8.2.2        | S7-300PLC 内部元件及其编址方式 .....                    | 209        |
| 8.2.3        | S7-300PLC 的硬件组态 .....                         | 211        |
| 8.3          | S7-300 系列 PLC 的编程结构及基本逻辑指令 .....              | 212        |

|                                                   |            |
|---------------------------------------------------|------------|
| 8.3.1 S7-300 系列 PLC 的编程结构 .....                   | 212        |
| 8.3.2 S7-300 系列 PLC 的基本逻辑指令 .....                 | 213        |
| 8.4 S7-300 系列 PLC 的定时器指令与计数器指令 .....              | 218        |
| 8.4.1 定时器指令 .....                                 | 218        |
| 8.4.2 计数器指令 .....                                 | 221        |
| 8.5 S7-300 系列 PLC 的功能指令和步进顺序控制指令及编程方法 .....       | 223        |
| 8.5.1 S7-300 系列 PLC 的功能指令 .....                   | 223        |
| 8.5.2 S7-300 系列 PLC 的步进顺序控制及编程方法 .....            | 223        |
| 思考题与习题 8 .....                                    | 225        |
| <b>第 9 章 PLC 的联网及通信技术 .....</b>                   | <b>227</b> |
| 9.1 PLC 的联网与通信技术概述 .....                          | 227        |
| 9.2 三菱小型 PLC 的联网与通信技术 .....                       | 228        |
| 9.2.1 三菱小型 PLC 的联网通信方式 .....                      | 228        |
| 9.2.2 三菱小型 PLC 的联网通信技术 .....                      | 230        |
| 9.3 西门子小型 PLC 的联网与通信技术 .....                      | 233        |
| 9.3.1 西门子小型 PLC 的联网通信方式 .....                     | 233        |
| 9.3.2 西门子小型 PLC 的联网通信技术 .....                     | 234        |
| 思考题与习题 9 .....                                    | 237        |
| <b>第 10 章 PLC 在工业电气控制系统中的应用与分析 .....</b>          | <b>239</b> |
| 10.1 三菱 FX 系列 PLC 在工业电气控制系统中的应用与分析 .....          | 239        |
| 10.1.1 三菱 FX 系列 PLC 在货物传送机电气控制系统中的应用与分析 .....     | 239        |
| 10.1.2 三菱 FX 系列 PLC 在水泵电气控制系统中的应用与分析 .....        | 240        |
| 10.1.3 三菱 FX 系列 PLC 在自动门电气控制系统中的应用与分析 .....       | 241        |
| 10.2 西门子 S7-200 系列 PLC 在工业电气控制系统中的应用与分析 .....     | 243        |
| 10.2.1 西门子 S7-200 系列 PLC 在工业混料罐控制系统中的应用与分析 .....  | 243        |
| 10.2.2 西门子 S7-200 系列 PLC 在中央空调电气控制系统中的应用与分析 ..... | 245        |
| 思考题与习题 10 .....                                   | 252        |
| <b>第 11 章 工业电气自动化设备的电气控制系统设计 .....</b>            | <b>253</b> |
| 11.1 工业电气自动化设备电气控制系统设计概述 .....                    | 253        |
| 11.2 工业电气自动化设备的继电接触控制系统原理图设计 .....                | 257        |
| 11.2.1 继电接触控制系统原理图的经验设计法 .....                    | 257        |
| 11.2.2 继电接触控制系统原理图的逻辑设计法 .....                    | 263        |
| 11.2.3 电气自动化设备的继电接触控制系统设计举例 .....                 | 267        |
| 11.3 工业电气自动化设备 PLC 控制系统设计 .....                   | 270        |
| 11.3.1 电气自动化设备 PLC 控制系统设计的基本原则和一般方法 .....         | 270        |
| 11.3.2 电气自动化设备 PLC 控制系统的设计方法 .....                | 271        |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 11.3.3 PLC 输入/输出接线图的设计 .....          | 274 |
| 11.3.4 电气自动化设备 PLC 顺序功能控制系统设计方法 ..... | 276 |
| 思考题与习题 11 .....                       | 286 |
| 附录 常用电气元件图形符号和文字符号表 .....             | 290 |
| 参考文献 .....                            | 292 |

# 绪 论

## 1. 电气控制与 PLC 技术的发展概况

电气控制与 PLC 技术是随着工业电气化和自动化控制技术的不断发展而发展的。电气控制与 PLC 技术是以实现生产过程自动化为目标而对各类以电动机为动力的机电装置与系统(控制对象)进行控制的技术。电气控制系统是其中的重要部分,在各行业的多个部门得到了广泛应用,它是实现工业自动化的重要手段。电气控制技术是随着科技进步而不断发展和创新的,经历了从最初的手动控制到自动控制,从单机控制到多机控制和生产线控制,从简单控制到复杂控制,从继电器接触器控制到 PLC 控制的发展过程。

### 1) 电力拖动系统的发展概况

20 世纪初,电动机的出现使得机械设备的动力和拖动系统发生了根本的改变。人们用电动机来代替蒸汽机拖动机械设备,这种拖动方式就称为电力拖动。最初人们用一台电动机来拖动一组机械设备,将其称为单机成组电力拖动系统,如图 0-1 所示。由于是用一台电动机拖动,因此使得机械传动十分复杂,也难以达到工艺要求。随着社会经济发展需要和技术的不断进步,对各种机械设备的功能不断提出了加工精度、速度和控制精度等新要求,从而出现了由多台电动机分别拖动各运动机构的拖动方式(如图 0-2 所示),进而使得控制技术得到了不断发展。

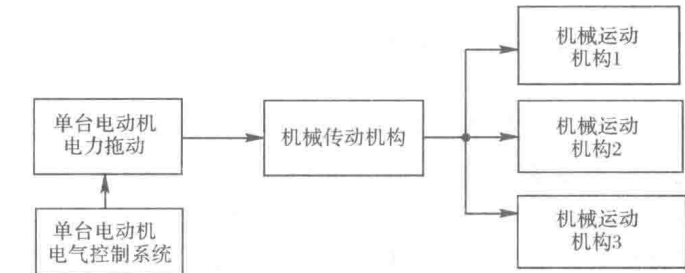


图 0-1 单机成组电力拖动系统

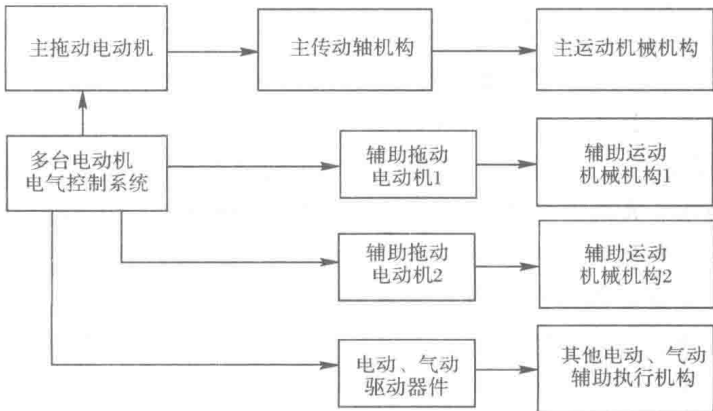


图 0-2 多电动机电力拖动系统

随着控制技术的不断发展和进步,电力拖动系统也得到了不断发展。从单机成组电力拖动向多电动机电力拖动的发展过程中,随着机械系统调速要求的不断提出,电力拖动系统也由固定速度的拖动不断向高精度的调速电力拖动系统方向发展,从而使交流调速拖动和直流调速拖动得到了交替发展。但是,直流电动机比交流电动机结构复杂,制造和维护都不方便。随着电力电子技术的不断发展和进步,促使了交流调速技术的迅速发展。近年来,电动机交流调速拖动已经占据了重要的地位。

### 2) 电气控制系统和 PLC 控制技术发展概况

在电力拖动系统的发展过程中,电气控制系统随着电气控制技术的不断进步也得到了不断发展。电气控制系统由最初的继电接触器控制发展到今天的 PLC 控制和系统计算机控制,由过去的硬件和硬接线控制发展到今天的软接线和软件程序控制,由过去的手动控制进入到自动控制阶段。

最初的电气控制系统采用的是继电器、接触器、按钮、行程开关等组成的继电接触器控制系统,这种控制系统具有使用单一性,即根据不同的控制要求设计不同的控制线路,一旦控制要求改变,势必就要重新设计、重新配线。但是,这种控制系统结构简单、维修方便、抗干扰能力强,所以至今仍在许多机械设备控制系统中广泛使用。

20 世纪 60 年代出现了一种能够根据生产工艺要求,通过改变控制程序达到控制目的的顺序控制器,它是通过组合逻辑元件的插接或编程来实现继电接触器控制线路的装置。它仍然是靠硬件手段完成自动控制任务的,体积大,且功能也受到一定的限制,因此并没有得到普及应用。

20 世纪 60 年代以后,在工业生产中迫切需要一种使用方便、灵活,运行安全、可靠,功能完善的新一代自动控制装置。电子技术和计算机技术的发展为此提供了有力的硬件支持,因此产生了可编程序控制器。可编程序控制器(简称 PLC 或 PC)是在顺序控制器基础上发展起来的以微处理器为核心的通用自动控制装置。

1968 年,美国通用汽车公司为增强其产品在市场竞争力,不断更新汽车型号,率先提出采用可编程序的逻辑控制器取代硬件接线的控制电路的设想,并对外招标。在 1969 年,第一台可编程序逻辑控制器问世。1969 年美国通用汽车公司将第一台 PLC 投入到生产线上使用,取得了满意的效果,引起了世界各国的关注。

随着电子技术和计算机技术的迅猛发展,集成电路的体积越来越小,功能越来越强。20 世纪 70 年代初,微处理机问世;在 70 年代后期,微处理机被运用到 PLC 中,使 PLC 的体积大大缩小,功能大大加强。

我国于 1974 年开始研制可编程序控制器。目前,全世界有数百家生产 PLC 的厂家,产品种类达 300 多种。PLC 无论在应用范围还是控制功能上,其发展速度都是始料未及的,远远超出了当时的设想和要求。目前,PLC 正朝着智能化、网络化的方向发展。

半导体器件技术、大规模集成电路技术、计算机控制技术、检测技术等的发展,推动了电气控制技术的不断发展。在控制方式上,电力拖动的控制方式由手动控制进入到了自动控制阶段,从开关量的断续控制方式发展到了由开关量和模拟量混合的连续控制方式;在控制功能上,从单一控制功能发展到了多功能控制,从简单控制系统发展到了多功能复杂控制系统;在控制手段和控制器件上,从有触点硬接线分立元件控制发展到了以 PLC 和系统计算机等软、硬件集成的存储器控制系统。

电气控制与 PLC 控制技术的发展概况如图 0-3 所示。

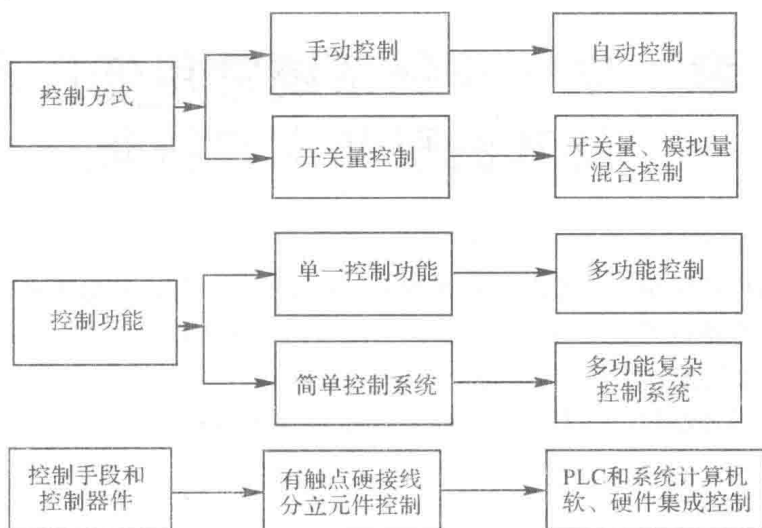


图 0-3 电气控制与 PLC 技术的发展概况

## 2. “电气控制与 PLC”课程的性质和任务

课程性质：“电气控制与 PLC”是一门实用性和专业性很强的专业课，是电气工程及其自动化专业、自动化、机械制造及其自动化等专业的专业核心课。其主要内容围绕电气设备的电力拖动系统及其他执行电器为控制对象，介绍各种常用低压电器控制元件、继电器接触器控制系统、PLC 控制系统的工作原理，典型电气设备的电气控制系统以及电气控制系统的设计方法等。通过本课程的学习，使学习者不但可以掌握传统的继电器接触器控制系统的有关知识，而且还可以掌握现代 PLC 控制技术；不但可以掌握电气控制技术方面的理论知识，同时将着力提高实际应用和动手能力。

“电气控制与 PLC”课程的基本任务：

(1) 熟悉常用的电气控制电器元件的结构原理、用途及型号，以达到正确使用和选用的目的。

(2) 熟练掌握继电器接触器控制系统的基本环节，具备阅读和分析继电器接触器控制系统的能力，能够设计继电器接触器控制系统的控制电路。

(3) 熟悉常用 PLC 的基本工作原理及应用发展概况。

(4) 熟练掌握常用 PLC 的基本指令系统和典型控制系统的编程，掌握常用 PLC 的程序设计方法，能够根据电气设备的过程控制要求进行系统设计，编制应用程序。

# 第 1 章 电气控制系统常用低压电器 及其图形和文字符号

低压电器被广泛应用于工业电气设备的电气控制系统中，它是实现继电接触器控制的主要电器元件。本章以工业电气设备中常用的低压电器为主线，主要介绍各种常用的低压电器的结构、工作原理、主要技术参数、选择方法等；以产品图片方式介绍工业电气设备中常用的低压电器的结构及工作原理；同时介绍电气设备中常用低压电器的图形和文字符号。

## 1.1 电气控制系统常用低压电器的分类和基本知识

### 1.1.1 常用低压电器的定义和分类

#### 1. 常用低压电器的定义

凡是自动或手动接通和断开电路，以及能实现对电路或非电对象切换、控制、保护、检测、变换和调节目的的电气元件统称为电器。

低压电器是指额定电压等级在交流 1200 V、直流 1500 V 及以下的电器。它是接通和断开电路或调节、控制和保护电路及电气设备用的电工器具。

#### 2. 常用低压电器的分类

低压电器的用途广泛，功能多样，种类繁多，结构各异。电气设备控制系统中常用的低压电器一般分为低压配电电器、低压控制电器、低压主令电器、低压保护电器及低压执行电器等。具体可按如下方法进行分类：

(1) 按动作原理分类。

① 手动电器：用手或依靠机械力进行操作的电器，如手动开关、控制按钮、行程开关等主令电器。

② 自动电器：借助于电磁力或某个物理量的变化自动进行操作的电器，如接触器、各种类型的继电器、电磁阀等。

(2) 按用途分类。

① 控制电器：用于各种电气设备的控制电路和控制系统中的电器，如接触器、继电器、电动机启动器等。

② 主令电器：用于电气设备的自动控制系统中发送动作指令的电器，如按钮、行程开关、万能转换开关等。

③ 保护电器：用于保护电路及用电设备的电器，如熔断器、热继电器、各种保护继电器、避雷器等。

④ 执行电器：用于完成电气设备的某种动作或传动功能的电器，如电磁铁、电磁离合器等。

⑤ 配电电器：用于电气系统中的供、配电，进行电能输送和分配的电器，如高压断路器、隔离开关、刀开关、自动空气开关等。

(3) 按工作原理分类。

① 电磁式电器：依据电磁感应原理来工作，如接触器、各种类型的电磁式继电器等。

② 非电量控制电器：依靠外力或某种非物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、速度继电器、温度继电器等。

(4) 按触点类型分类。

① 有触点电器：利用触点的接通和分断来切换电路，如接触器、刀开关、按钮等。

② 无触点电器：无可分离的触点，它主要是利用电子元件的开关效应，即导通和截止来实现电路的通、断控制，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器、固态继电器等。

有些元件，既是低压控制电器又是低压主令电器(如按钮等)，既是低压配电电器又是低压保护电器(如熔断器等)，所以低压电器的分类并没有十分明显的界线。

### 1.1.2 常用低压电器的基本知识

电磁式电器由两个主要部分组成：感测部分(即电磁机构)、执行部分(即触头系统)。

#### 1. 电磁机构

电磁机构是电磁式电器的感测部分，它的主要作用是将电磁能量转换为机械能量，带动触头动作，从而完成接通或分断电路。如图1-1所示，电磁机构由吸引线圈、铁芯、衔铁等几部分组成。



图 1-1 常用的磁路结构

吸引线圈的作用是将电能转换成磁场能量。按通入电流种类不同，吸引线圈可分为直流线圈和交流线圈。

对于直流电磁铁，因其铁芯不发热，只有线圈发热，所以直流电磁铁的吸引线圈制成高而薄的瘦长形，且不设线圈骨架，使线圈与铁芯直接接触，易于散热。

对于交流电磁铁，由于其铁芯存在磁滞和涡流损耗，这样线圈和铁芯都发热，因此交流电磁铁的吸引线圈设有骨架，使铁芯与线圈隔离，并将线圈制成短而厚的矮胖形，这样做有利于铁芯和线圈的散热。

电磁铁的电磁吸力为