



高等职业教育精品工程规划教材

YEYAYUQIDONGKONGZHILJISHU

液压与气动控制技术



主 编 冷更新 张雨新
副主编 牛彩雯 郑晓坤

- 原理类似的液压与气动元件结合讲解
- 包含丰富的实训任务
- 配备免费电子教学资源
- 模块化分析方法，工业实用技术，操作维护基础



中国工信出版集团



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY
<http://www.phei.com.cn>

高等职业教育精品工程规划教材

液压与气动控制技术

主 编 冷更新 张雨新

副主编 牛彩雯 郑晓坤

 电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 • BEIJING

内 容 简 介

本教材共分五篇,第一篇为概论,主要介绍自动控制系统的结构及液压与气动系统的特点。给出了选择系统控制过程的几种描述方法、系统的主要参数以及液压与气动的相同点与不同点。第二篇为液压与气动基础元件部分,主要从执行元件、控制元件、检测元件、动力源结构等方面进行系统描述,利用液压与气动元件在结构原理上相同的特点,通过归纳液压与气动回路和元件的区别,用通用结构原理和补充说明方式来描述液压与气动元件的结构特点。第三篇为液压与气动基本回路部分,主要介绍液压与气动控制系统的方向、压力、流量的基本控制回路的几种形式。第四篇为液压与气动典型系统部分,主要介绍了动力滑台液压进给系统的控制过程、油压机的控制过程以及液压与气动机械手系统的控制过程等实际应用控制回路,包括系统控制过程的描述、液压或气动原理图分析、I/O 结构图、功能表图、梯形图等。第五篇是液压与气动系统的使用维护部分,主要介绍了液压系统的设备维修与维护方法以及气动系统的安装与调试过程等,包括故障现象判断、参数整定要求、实际操作内容等。

本书可作为高职院校机电及机械类相关专业的教材,也可作为相关技术人员的参考用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动控制技术 / 冷更新, 张雨新主编. —北京: 电子工业出版社, 2016.1

ISBN 978-7-121-26489-4

I. ①液… II. ①冷… ②张… III. ①液压控制—高等学校—教材②气动技术—高等学校—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 145360 号

策划编辑: 郭乃明

责任编辑: 郭乃明 特约编辑: 范 丽

印 刷: 三河市华成印务有限公司

装 订: 三河市华成印务有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1 092 1/16 印张: 19.25 字数: 489.6 千字

版 次: 2016 年 1 月第 1 版

印 次: 2016 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 3 000 册 定价: 43.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系, 联系及邮购电话: (010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltz@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线: (010) 88258888。

前 言

目前的自动控制系统主要以 PLC 为控制单元,借助机、电、气、液传动结构,利用其相应的控制元件形成综合控制系统,因此液压与气动控制技术是自动控制系统的一部分,而液压与气动控制技术的研究则应从系统的通用控制结构入手,对其液压与气动传动装置按照设备系统的结构组成进行系统性的研究。本教材按照液压与气动装置的设备结构,从系统的执行元件、控制元件、检测元件及动力源方面,针对性地分析了液压与气动基础元件的特点和控制要求,并通过对液压与气动基本控制回路和典型控制应用系统等分析,力求培养读者对实际系统举一反三和深入研究开发的能力。这就要求对实际系统进行分析时,应将“复杂控制回路系统”分隔,形成若干“基本回路”,而“基本回路”由“基础元件”构成;通过对“基础元件”的熟悉和对“基本回路”的掌握以及对典型控制应用系统“复杂控制回路”的拆分过程,实现对液压与气动控制技术的掌握。并在应用过程中能够根据实际系统特点选择用循环动作图、动作表、动作时序图、流程图、功能表图等来表达系统控制过程,并用基础元件和基本控制回路的灵活组合,形成满足特定要求的典型回路;同时用中英文元素标注和完整的结构来突出“图”的工程表达语言,使图中基础件的名称与国际接轨。

本教材共分五篇,第一篇为概论,主要介绍自动控制系统的结构及液压与气动系统的特点。给出了选择系统控制过程的几种描述方法、系统的主要参数以及液压与气动的相同点与不同点。第二篇为液压与气动基础元件部分,主要从执行元件、控制元件、检测元件、动力源结构等方面进行系统描述,利用液压与气动元件在结构原理上相同的特点,通过归纳液压与气动回路和元件的区别,用通用结构原理和补充说明方式来描述液压与气动元件的结构特点。第三篇为液压与气动基本回路部分,主要介绍液压与气动控制系统的方向、压力、流量的基本控制回路的几种形式。第四篇为液压与气动典型系统部分,主要介绍了动力滑台液压进给系统的控制过程、油压机的控制过程以及液压与气动机械手系统的控制过程等实际应用控制回路,包括系统控制过程的描述、液压或气动原理图分析、I/O 结构图、功能表图、梯形图等。第五篇是液压与气动系统的使用维护部分,主要介绍了液压系统的设备维修与维护方法,以及气动系统的安装与调试过程等,包括故障现象判断、参数整定要求、实际操作内容等。

教材力求作为该课程的参考书并成为学生的自学读物和课程工具书,而不单单是教师的教案,因为笔者认为,课堂是老师和学生共同“教”和“学”的过程,当然是以学生为主体寻找到的“教法”和主体自觉努力“兴趣”学法的统一,因此无论是“理论教学”、“项目教学”、“实验过程”、“实训过程”等,都是根据教学内容和学习主体的客观情况确定的教学过程,不同的内容其过程形式不同,但教材则要求从目录到内容应对学科进行“面”、“线”、“点”的分类。“篇”相当于“面”,应给出学科“块”的结构,而这个块应便于总结和归类;“章”相当于“线”,应给出学科上下一条“线”的“因果”结构,而这个线应便于梳理和划分;“节”相当于“点”,应给出学科的主要知识点,而这个点应该是“面”和“线”上的知识基础点,并通过“面”、“线”、“点”的模块结构掌握知识要点,并最终通过“目录”获得总结学科知识和查阅学科知识的能力。

液压与气动系统中，习惯上将压强称为压力，将电动机称为电机，为叙述方便以及符合行业例行标准，本书沿用此惯例。

本书由唐山工业职业技术学院冷更新、张雨新主编，牛彩雯、辽宁机电职业技术学院郑晓坤任副主编。在编写过程中参考了有关专业书籍和资料，在此向原作者表示最诚挚的谢意！由于编者水平有限，书中难免出现不妥之处，敬请读者批评指正。

编者
2015年4月

目 录

第一篇 概论	1
第 1 章 自动控制系统	2
1.1 自动化系统的组成	2
1.2 电气控制系统	5
1.3 PLC 控制系统	7
1.4 系统动作过程的表述与确定	14
思考题	18
第 2 章 液压与气动系统	19
2.1 液压与气动技术的研究对象	19
2.2 液压与气压传动介质	23
2.3 压力的传递特性	26
思考题	29
第二篇 液压与气动基础元件	30
第 3 章 执行元件	31
3.1 液压缸	31
3.2 气缸	34
3.3 液压摆动马达	39
3.4 液压旋转马达	40
3.5 气马达	42
3.6 执行元件的应用特点	43
思考题	46
第 4 章 控制元件	47
4.1 液压方向控制元件	48
4.2 气动方向控制元件	59
4.3 液压压力控制元件	61
4.4 气动压力控制元件	65
4.5 液压流量控制元件	67
4.6 气动流量控制元件	69
4.7 液压比例阀、插装阀、叠加阀	71
4.8 气动比例阀	82
思考题	84
第 5 章 常用检测元件	85
5.1 磁性传感器	86
5.2 接近传感器	87
5.3 光电式传感器	89

5.4 其他类型传感器件	93
5.5 检测信号的传递与转换	96
思考题	98
第6章 动力源	99
6.1 液压源的结构组成	100
6.2 气源的结构组成	119
6.3 密封装置	124
6.4 管路	128
思考题	130
第三篇 液压与气动基本回路	131
第7章 方向控制回路	132
7.1 液压换向回路	133
7.2 气动换向回路	137
7.3 液压锁紧回路	139
7.4 气动锁紧回路	144
7.5 液压往复控制回路	145
7.6 气动往复控制回路	150
7.7 液压缸定位控制	152
7.8 气缸定位控制	155
思考题	158
第8章 压力控制回路	159
8.1 液压调压回路	161
8.2 气动调压回路	164
8.3 液压减压回路	166
8.4 气动减压回路	170
8.5 液压增压回路	172
8.6 气动增压回路	173
8.7 液压卸荷回路	176
8.8 液压保压回路	178
8.9 液压平衡回路	182
8.10 液压缓冲回路	184
8.11 气动缓冲回路	186
8.12 液压缸的推力及运动速度计算	187
8.13 气动压力回路的特点	188
思考题	190
第9章 流量控制回路	192
9.1 液压调速回路	193
9.2 气动调速回路	202
9.3 液压快速运动回路	203
9.4 气动快速运动回路	207

9.5 液压速度转换回路	208
9.6 气动速度转换回路	211
9.7 液压同步回路	213
9.8 气动同步回路	217
思考题	218

第四篇 液压与气动典型系统 220

第 10 章 (项目一) 动力滑台	221
10.1 概述	221
10.2 液压传动动力滑台	223
第 11 章 (项目二) 成形机	230
11.1 成形机的分类	230
11.2 液压成形机	231
第 12 章 (项目三) 机械手	237
12.1 机械手的组成	237
12.2 机械手的分类	239
12.3 气动与液压机械手	246
12.4 六自由度搬运机械手的控制	255
思考题	259

第五篇 使用维护篇 261

第 13 章 液压系统的设备维修与维护	262
13.1 液压系统的故障检修方案	262
13.2 液压系统的故障检修与诊断	263
13.3 液压系统的油污染问题	267
13.4 液压系统的清洗过程	270
13.5 液压系统清洗后的参数调整	272
第 14 章 气动系统的安装、调试、维护、维修	274
14.1 气动系统的工作环境与传动控制方案的确定	275
14.2 气动执行元件的安装与调试	276
14.3 气动控制元件的安装与调试	280
14.4 气动检测元件的安装与调试	283
14.5 气源的安装与调试	284
14.6 气动系统的使用与维护	289

附录 液压与气压传动常用图形符号 293

参考文献	297
------------	-----

第一篇

概论

对于一个自动化系统的控制过程而言，主要包括产品的工艺形成过程、生产设备的原理工作过程、设备指标的参数确定过程、执行机构的选型过程、检测元件的信号采集过程、控制结构的模块组合过程、控制软件的程序设计过程、生产线的安装调试过程、系统设备的运行维护过程等，这些过程，主要是围绕系统执行元件构成的工作（做功）机构能否达到其产品工艺的要求过程而进行的对执行元件的控制过程，而执行元件包括液压与气动执行元件，因此液压与气动控制技术是自动化系统整体控制过程中不可缺少的一部分。

本篇共分两章，第1章主要介绍了自动化控制系统各功能机构的作用及基本性能要求；电气控制的基本知识及逻辑回路；PLC控制系统的工作原理及控制系统的设计过程；以及如何用系统循环动作图、动作表、动作时序图、流程图或功能表图等表述与确定系统的动作过程。第2章主要介绍了液压与气压传动的工作原理、结构特点以及应用与发展；液压与气压传动介质特性；相对压力、绝对压力以及真空度的概念和液压与气动的压力传递特性。

第 1 章 自动控制系统



本章第一节主要介绍了自动化控制系统的构成以及各部分所起的作用，并阐述了自动控制系统要具有稳定性、快速性和准确性的性能特点。第二节介绍了电气控制系统控制回路的组成，并介绍了“与”、“或”、“记忆”、“延时”电气控制回路的结构。第三节介绍了 PLC 具有的功能，给出了 PLC 的 I/O 结构原理图和通用控制结构图。第四节介绍了借助功能图实现对控制过程进行描述的方法。

本章教学目标：掌握设备控制结构，理解设备各组成部分之间的作用和关系，能用功能图表示设备的控制过程，了解 PLC 控制系统的接线结构				
	重 点	难 点	教学方法	建议学时
第一节	自动控制系统的结构及各部分的作用和组成	执行、检测、控制、动力源、本体等相互之间的控制关系	讲授	0.5 课时
第二节	电气控制回路的控制形式	“与”、“或”、“记忆”、“延时”电气控制回路的结构	讲授	0.5 课时
第三节	PLC 控制系统的通用控制结构	PLC 的工作过程	讲授	1 课时
第四节	系统控制过程的表示方法	循环动作图、动作表、时序图、流程图、功能表图等功能图的正确使用	讲授	0.5 课时
合计学时（min）				2.5 课时

1.1 自动化系统的组成

自动化系统由（电、气、液）执行机构、检测及传感器机构、（电、气、液）控制机构、机械本体机构、动力源机构共五部分构成。

1.1.1 各功能机构的作用

1. 执行机构

执行机构的作用是按照产品工艺性能参数的要求，在控制机构部分发出的各种指令信号的引领下，通过特定的能量转换形式，完成预期的能量加载的工作（做功）过程。从能量转换形式的角度看，它由能量转换执行元件（如电机、液压缸或汽缸等）构成，但从执行过程衡量，它应由能量转换执行元件和传动机构两部分组成，如电机和减速机等，既能实现给定的运动，又能传递足够的基础动力，并具有良好的传动稳定性能。对于自动化系统来讲，当电气控制部分发出的控制信号传到执行机构部分之后，执行机构就要完成特定的能量转换形式和基本能量的匹配输出等功能实现过程。

对于自动控制系统而言其执行机构部分有：电机传动系统（包括伺服电动机系统）、步进电动机系统、交直流调速电动机系统、汽缸或液压缸系统、气动或液压摆动马达系统、旋转马达系统等，其执行部分中的执行元件最显著的特点一是能量转换，二是做功并消耗功率。

2. 检测及传感器机构

检测及传感器部分的作用是获取系统运行过程中的有关参数变化的信息，其功能是通过装在自动化系统上的各种检测元件及传感器来获取需要的各种信号，并把检测到的信号经过放大、变换，然后传送到控制部分进行分析和处理。检测部分可以使用多种形式的检测元件，如行程开关、接近开关、光电开关、射频开关、压力开关、流量开关、温度开关及相应可输出脉冲或模拟量信号的传感器件、旋转编码器、智能检测仪表等，其工作过程涉及光、电、气、液、机等多种机理并包括信息转换、显示、记录等部分。因此可以说检测及传感器部分是一个有输入、输出、电源接口、内部处理核心的相对独立系统。

3. 控制部分（电、气、液）

控制部分的作用是处理系统运行过程中得到的各种信息数据并做出相应的比较判断、选择决策和指令输出。在自动控制系统中，电气控制部分中控制器是系统的指挥中心，它利用检测及传感器部分将检测到的信号传送到其内部，并将这些信号数据与要求的工艺值进行比较、分析、判断之后，通过专用控制元件给执行机构发出执行工作命令。这是一个随机信息数据的处理控制过程，因此控制器部分要具有信息处理和控制的功能，这个功能的复杂性要根据系统性能要求而定，其处理数据量可大可小，处理过程可多可少，但处理时间必须迅速（瞬时处理）。目前随着计算机技术的发展，与其应用密切相关的机电一体化技术也得到了进一步普及，计算机已成为控制器的主体，能够提高系统控制部分的信息处理速度和数据精度以及可靠性，减小占用的空间体积，同时提高系统整体的抗干扰性能等。目前的系统大都为电、气、液综合控制系统，因此其控制部分应由主控单元和执行元件的控制元件（电路执行元件即系统控制元件）及主令控制开关等组成。按主控单元的形式，系统的控制部分可以分成以下几种形式。

继电器控制系统（Relay Control System）。一般简单系统直接由继电器和接触器控制系统实现，例如简单功能的自动冲床、半自动机床等。

单片机控制系统（Single-chip Microcomputer Control System）。一般特定或专用小型系统大都由单片机控制系统实现，例如智能仪表、电子计量秤、小型电热锅炉的控制等。

PLC 控制系统（PLC Control System）。一般通用设备系统都由 PLC 控制系统实现，尤其是工业企业的现场设备，几乎都采用 PLC 控制形式，例如自动包装机、自动切割机床、数控机床等。

计算机控制系统（Computer-controlled System）。对于综合控制系统一般由计算机控制系统实现，DCS 系统的上位机几乎都采用计算机控制形式的系统，例如水泥、钢铁方面的自动生产线等。

综上所述，主控单元包括继电器硬件逻辑单元、PLC、单片机、计算机等控制单元。

执行元件的控制元件包括变频器（Transducer）、控制电机的控制器（Controller）、电磁阀（Solenoid valve）、接触器（Contactor）等，而它们也是对电机、汽缸、气马达、液压缸、液压马达等系统执行元件进行通断控制和输出功率调节的系统控制装置的一部分，属于系统控制元件。因此系统控制元件相当于系统执行元件的功率通断开关，受控于主控单元，对执行元件具有一一对应的输出功率调节或启停控制作用，具备输出功率特性，但不具备消耗功率特性（相对系统执行元件），是控制回路的输出动作元件（或称执行元件），可以说控制回路的执行元件是系统的控制元件。

主令控制开关指主控单元输入端的控制按钮和转换开关等。

4. 动力源部分

动力源部分的作用是向系统如自动化设备及生产线等供应和输送特定形式的能源动力，以驱动系统正常运转。常用的动力源有电源、液压源、气压源等。液压执行元件和气动执行元件当然需要用液压源和气压源进行驱动。

5. 机械本体部分

在自动化系统中机械本体是完成给定工作的主体，具有整体结构支撑、机构及部件之间的连接固定、实现能量的中间传递、改变能量的传递方向并具有特定的运动形式状态等功能，是机、电、气、液一体化技术的载体。一般机械本体包括机壳（Enclosure）、机架（Rack）、机械传动部件（Mechanical drive part）以及各种连杆机构（Link mechanism）、凸轮机构（Cam mechanism）、联轴器（Coupling）等。

由于自动化系统一般都具有高速运转、高精度配合、高效率生产和高复杂性的特点，因此，其机械本体应满足稳定安全、精密可靠、维护方便、模块集成以及轻巧美观、操作简单和实用耐用等性能要求。

1.1.2 自动控制系统的性能要求

自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面：稳定性、快速性和准确性，即过渡过程时间（又称调整时间）越短越好，振荡幅度越小越好，衰减得越快越好。

1. 稳定性（Stability）

一个自动控制系统的最基本的要求就是系统的控制调整过程必须是稳定的，不稳定的控制系统是不能工作的。如何判断系统是否稳定，最主要的就是检测和衡量控制系统的输出被控量的参数变化情况，其最大误差值（超调量的绝对值）能否达到系统目标参数值的最低要求。

2. 快速性（Rapidity）

在系统稳定控制的前提下，希望控制过程（调整的过渡过程）进行得越快越好，但这会与系统的稳定性有矛盾，通常一个系统如果要求的过渡过程时间很短，可能使动态误差（偏差）过大。合理的设计应该兼顾稳定性和快速性这两方面要求。

3. 准确性（Accuracy）

对于一个系统，通常希望动态误差（偏差值）和稳态误差（偏差值）都越小越好。当这两个值的准确性与快速性有矛盾时，应兼顾两方面的要求。

由于半导体集成电路技术的发展，智能仪表技术、变频器技术、单片机技术、PLC 技术、计算机技术等得到了快速提高，其产品性能也得到了迅速发展。因此过去一般控制系统中的干扰问题、信号传递过程中的失真问题、控制调节过程的滞后问题在目前的工业系统中都能得到很好的解决。因此目前工业自动控制系统中，应当注重智能仪表、旋转编码器等检测器件与 PLC 的输入形式的应用，以及变频器、控制电机的控制器与 PLC 的输出形式的应用；同时注重控制过程的各个时刻的系统参数变化和系统执行机构的逻辑关系变化；注重用最小量的定量控制形式来解决控制系统的调节稳定性。

1.2 电气控制系统

电气控制系统严格上讲是指电气设备二次控制回路。实际上一个控制系统包括主回路和控制回路两部分。主回路是指系统执行元件的能量或功率驱动回路,包括电气、气动、液压等回路;控制回路是指由继电器、单片机、PLC 等形式的主控单元与接触器、电磁阀、驱动器等形式的电路执行元件(或称系统控制元件)组成的系统主回路的控制部分,实现对主回路的控制功能、保护功能、测量功能、监视功能。主回路属于执行设备回路,是由电动执行元件、气动执行元件、液压执行元件和相应功率开关或驱动单元等一次设备组成的一次回路;控制回路是由主控单元和相应功率开关或驱动单元的控制元件等二次设备组成的一次回路的二次控制回路。

目前的自动控制系统大都是由电动、机械、气动、液压等单一基础动力驱动形式组成的复合自动控制系统。

电气控制的气动系统在自动化应用中是相当广泛的。在气动自动化系统中,电气控制主要是控制电磁阀的换向。电气控制的特点是响应快,动作准确。

1.2.1 电气控制的基本知识

1. 开关元件状态 (Switch element status)

电气控制电路的接通和断开是由各类电气的开关(无触点开关)和开关触点来完成的,如电磁阀的通电和断电就是由行程开关或控制系统的开关触点来完成的。电路中的触点有常开触点(Normally open contact)和常闭触点(Normally closed contact)两类。

(1) 常开触点

在原始状态时,触点是断开的,加了外力后它才闭合。这种触点称为常开触点或动合触点。

(2) 常闭触点

在原始状态时,触点是闭合的,加了外力后它才断开。这种触点称为常闭触点或动断触点。

2. 控制继电器 (Pilot relay)

控制继电器是一种当输入变化到某一定值时,其触点即接通或断开的交、直流小容量控制的自动化电器。它广泛用于电力拖动、程序控制、自动调节与自动检测系统中。按动作原理分类有电压继电器 (Voltage relay)、电流继电器 (Current relay)、中间继电器 (Intermediate relay)、热继电器 (Thermorelay)、温度继电器 (Temperature relay)、速度继电器 (Speed relay) 及特种继电器 (Special type relay) 等。在电气自动化技术中用得最多的是中间继电器与时间继电器 (Time relay) 两种。继电器属于功能性逻辑开关元件。最大电流容量 (Current capacity) 一般为 5A。

中间继电器的作用是通过它进行中间转换,增加控制回路数或放大控制信号,其线圈电压有交流与直流两种。

时间继电器用于各种生产工艺过程或设备的自动控制中,以实现通电延时或断电延时。

3. 接触器

接触器一般是由继电器控制的功率型开关元件,按承载的电流大小进行分类,最小电流容量一般为 10A。

1.2.2 电气逻辑回路

电气开关元件只有两种状态：“接通”（又称动合）和“断开”（又称动断）。接通用逻辑 1 表示，断开用逻辑 0 表示。

1. 或门电路（“Or” gate circuit）

指开关的并联逻辑关系电路。图 1-1 所示为门电路及或门和与门电路工作形式。

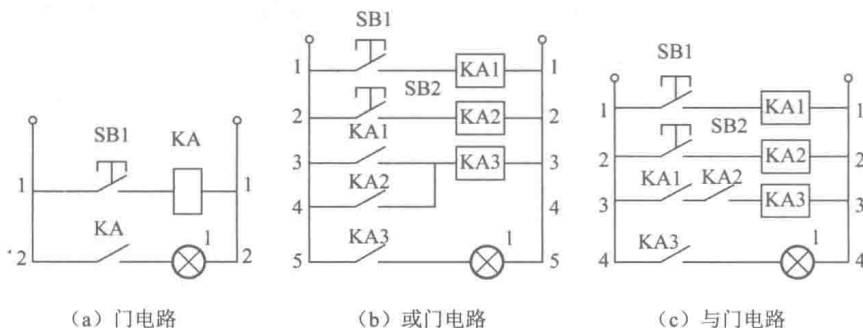


图 1-1 门电路图

2. 与门电路（“And” gate circuit）

指开关的串联逻辑关系电路。

3. 记忆电路（Memory circuit）

指开关的自保持电路。图 1-2 所示为记忆电路和延时电路的两种形式。记忆电路的停止按钮可以和启动按钮串联，也可以和启动按钮并联，两种形式都可以实现停止功能。

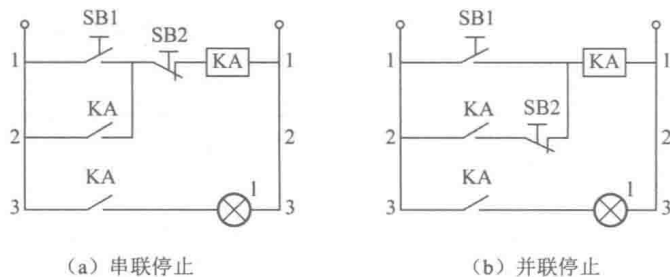


图 1-2 记忆电路图

4. 延时电路（Time-delay circuit）

当电气的延时电路接通或断开后，其延时电路控制的开关触点可以被延时地接通或断开，因此开关触点分为延时闭合与延时打开两种。图 1-3 所示为延时电路的延时闭合和延时断开两种形式。

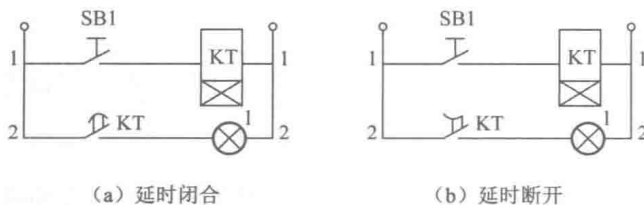


图 1-3 延时电路

5. 或逻辑实现的启停电路 (“Or” logic start-stop circuit)

如图 1-4 所示, 按钮 SB1、SB2 和继电器 KA、电阻 R 等构成了启停电路, 如压下按钮 SB1, 由于 SB2 是常开接点, 则继电器 KA 线圈没有被短接, 并经电阻 R 得电吸合, 通过自保接点 A 自锁。当压下 SB2 时, KA 的线圈被短路, 失电释放。

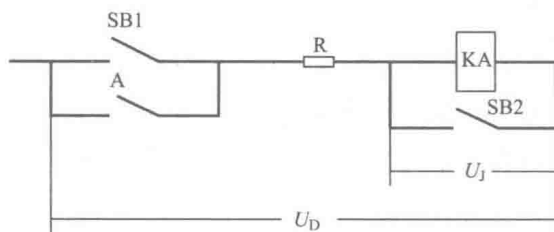


图 1-4 或逻辑启停电路

启动按钮 SB1 可用多个并联实现异地或启动控制; 停止按钮 SB2 可用多个并联实现异地或停止控制; 启动回路和停止回路不采用“与”形式的串联接线, 而采用“或”形式的并联接线, 减少了线路节点数量, 简化了线路结构, 便于系统安装与维护。

电路中, 电源电压 U_D 必须大于继电器的额定工作电压 U_j 。

电阻按下式计算选择:

$$R = \frac{U_D - U_j}{I_j} \quad (1-1)$$

式中: I_j ——继电器 KA 的工作电流。

功率按下式计算:

$$W = \left(\frac{U_D}{R} \right)^2 \cdot R \quad (1-2)$$

1.3 PLC 控制系统

可编程控制器于 20 世纪 60 年代末在美国首先出现, 当时叫可编程逻辑控制器, 即 PLC (Programmable Logic Controller), 目的是用来取代继电器, 实现逻辑判断、计时、计数等顺序控制功能。PLC 的基本设计思想是把计算机的功能完善、灵活、通用等优点和继电器控制系统的简单易懂、操作方便、价格便宜等优点结合起来, 作为控制器应用并使其控制器的硬件具有标准化、通用化的特点, 同时根据实际应用对象, 可以将控制内容编成软件写入控制器的用户程序存储器内。从而利用通用的工业化控制单元, 实现各具特色的不同行业的系统控制。

最初研制生产的 PLC 主要用于代替传统的由继电器、接触器构成的控制装置, 其梯形图就是模拟继电器开关触点的硬件逻辑电路结构而设置的, 但这两者的运行控制方式是不相同的。

继电器控制装置采用硬逻辑电路结构并行控制运行的方式, 即如果这个继电器的线圈通电或断电, 该继电器所有的触点 (包括其常开或常闭触点) 在继电器控制线路的任何位置上都会立即同时动作。而 PLC 的 CPU 则采用顺序逻辑扫描用户程序 (软件程序) 的控制运行方式, 即如果一个输出线圈或逻辑线圈被接通或断开, 该线圈的所有触点 (包括其常开或常闭触点) 不会立即动作, 必须等扫描到该触点时才会动作。继电器控制装置各类触点的动作时间一般在 100ms 以上, 而 PLC 扫描用户程序的时间一般均小于 100ms。因此用 PLC 取代继电器满足及时通断的时间条件和逻辑输出条件。

1.3.1 PLC 的结构及各部分的作用

可编程控制器的结构都是以微处理器为核心的控制结构。通常由中央处理单元 (CPU)、存储器 (RAM、ROM)、输入输出单元 (I/O)、电源和编程器等几个部分组成。

1. 中央处理单元 (CPU)

CPU 作为整个 PLC 的核心,起着总指挥的作用。CPU 一般由控制电路、运算器和寄存器组成。这些电路通常都被封装在一个集成电路的芯片上。CPU 通过地址总线、数据总线、控制总线与存储单元、输入输出接口电路连接。CPU 通过从存储器中读取指令,执行指令,取下一条指令,处理中断等实现系统的控制功能。

2. 存储器 (RAM、ROM)

存储器主要用于存放系统程序、用户程序及工作数据。存放系统软件的存储器称为系统程序存储器;存放应用软件的存储器称为用户程序存储器;存放工作数据的存储器称为数据存储器。常用的存储器有 RAM、EPROM 和 EEPROM。RAM 是一种可进行读写操作的随机存储器,用于存放用户程序,生成用户数据区,存放在 RAM 中的用户程序可方便地修改。RAM 存储器是一种高密度、低功耗、价格便宜的半导体存储器,可用锂电池作为备用电源。掉电时,可有效地保持存储的信息。EPROM、EEPROM 都是只读存储器。用这些类型存储器固化系统管理程序和应用程序。

EPROM(Erasable Programmable ROM,可擦除可编程 ROM)芯片可重复擦除和写入。EPROM 芯片有一个很明显的特征,在其正面的陶瓷封装上,开有一个玻璃窗口,透过该窗口,可以看到其内部的集成电路,紫外线透过该孔照射内部芯片就可以擦除其内的数据,完成芯片擦除的操作要用到 EPROM 擦除器。EPROM 内资料的写入要用专用的编程器,并且往芯片中写内容时必须加一定的编程电压(12~24V,随不同的芯片型号而定)。

EEPROM(Electrically Erasable Programmable ROM),电可擦可编程只读存储器是一种掉电后数据不丢失的存储芯片。

3. 输入输出单元 (I/O 单元)

I/O 单元实际上是 PLC 与被控对象间传递输入输出信号的接口部件。I/O 单元有良好的电隔离和滤波作用。接到 PLC 输入接口的输入器件是各种开关、按钮、传感器等。PLC 的各输出控制器件往往是电磁阀、接触器、继电器,而继电器有交流和直流型,高电压型和低电压型,电压型和电流型。

随着计算机技术的发展,PLC 的 I/O 单元也从单一的开关量的输入输出形式发展为开关量、模拟量、脉冲量等输入输出形式。

I/O 单元的输入器件包括主令电器和检测传感器及给定量控制。主令电器的信号形式为开关量 DI;检测用传感器及智能仪表等信号形式为开关量输入 DI、模拟量输入 AI、脉冲量输入 PI;给定量控制是指电压或电流的模拟量输入 AI。

I/O 单元的输出器件主要是执行元件,其输出量的形式有三种,即开关量输出 DO、模拟量输出 AO、脉冲量输出 PO。电路控制的执行元件包括变频器(Transducer)、伺服电机驱动器(Servo motor driver)、步进电机驱动器(Stepper motor driver)等。

4. 电源

PLC 电源单元包括系统的电源及备用电池, 电源单元的作用是把外部电压转换成内部工作电压。PLC 内有一个稳压电源, 用于对 PLC 的 CPU 单元和 I/O 单元供电。

5. 编程器

编程器是 PLC 的最重要外围设备。利用编程器可将用户程序送入 PLC 的存储器, 还可以用编程器检查程序, 修改程序, 监视 PLC 的工作状态。除此以外, 在个人微计算机上添加适当的硬件接口和软件包, 也可以实现用微计算机对 PLC 编程。利用微机作为编程器, 可以直接编制并显示梯形图, 并在线实现程序运行与调试。

1.3.2 PLC 的工作原理

当 PLC 投入运行后, 其工作过程一般分为三个阶段, 即输入采样、用户程序执行和输出刷新三个阶段。完成上述三个阶段称为一个扫描周期 (Scanning cycle)。在整个运行期间, PLC 的 CPU 以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。

1. 输入采样阶段 (Input sampling stage)

在输入采样阶段, PLC 以扫描方式依次地读入所有输入状态和数据, 并将它们存入 I/O 映像区中的相应单元内。输入采样结束后, 转入用户程序执行和输出刷新阶段。在这两个阶段中, 即使输入状态和数据发生变化, I/O 映像区中的相应单元的状态和数据也不会改变。因此, 如果输入是脉冲信号, 则该脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期, 才能保证在任何情况下, 该输入均能被读入。

2. 用户程序执行阶段 (User program executing stage)

在用户程序执行阶段, PLC 总是按由上而下的顺序依次地扫描用户程序 (梯形图)。在扫描每一条梯形图时, 又总是先扫描梯形图左边的由各触点构成的控制线路, 并按先左后右、先上后下的顺序对由触点构成的控制线路进行逻辑运算, 然后根据逻辑运算的结果, 刷新该逻辑线圈在系统 RAM 存储区中对应位的状态; 或者刷新该输出线圈在 I/O 映像区中对应位的状态; 或者确定是否要执行该梯形图所规定的特殊功能指令, 即在用户程序执行过程中, 只有输入点在 I/O 映像区内的状态和数据不会发生变化, 而其他输出点和软设备在 I/O 映像区或系统 RAM 存储区内的状态和数据都有可能发生变化, 而且排在上面的梯形图, 其程序执行结果会对排在下面的用到这些线圈或数据的梯形图起作用; 相反, 排在下面的梯形图, 其被刷新的逻辑线圈的状态或数据只能到下一个扫描周期才能对排在其上面的程序起作用。

3. 输出刷新阶段 (Output refreshing stage)

当扫描用户程序结束后, PLC 就进入输出刷新阶段。在此期间, CPU 按照 I/O 映像区内对应的状态和数据刷新所有的输出锁存电路, 再经输出电路驱动相应的外部设备。这时, 才是 PLC 的真正输出。

一般来说, PLC 的扫描周期包括自诊断、通信等。即一个扫描周期等于自诊断、通信、输入采样、用户程序执行、输出刷新等所有时间的总和。

如图 1-5 所示为 PLC 的 I/O 结构原理图, 以 S7-200 西门子 PLC 为例, 在输入接口, 按钮、检测元件等通过连接 24V 电源和 COM 端接入输入端, 并利用光电隔离最终形成与每一个输入端相对应的输入映像继电器结构, 实现外部与内部的条件控制。内部控制过程按照条件要求, 由 PLC