

智能化融媒体新形态教材

PLC 控制系统设计项目教程

主 编 李英辉 王素芹 汪 甜



上海交通大学出版社
SHANGHAI JIAO TONG UNIVERSITY PRESS

内容提要

本书根据职业教育新基建“五金”之一的“金教材”建设要求,结合编者多年的职业教育教学经验和企业实践,以行业发展趋势、企业工作岗位的实际技术需求为目标进行编写。

本书包括卷帘门控制系统设计、运料小车控制系统设计、延时控制系统设计、彩灯控制系统设计、电子设备控制系统设计、顺序控制系统设计、工业装置控制系统设计、通信控制系统设计八个项目。

本书可作为高等院校电气自动化、机电一体化、工业机器人、应用电子、建筑电气等相关专业用书,也可作为从事 PLC 控制系统设计、安装、调试与维护的工程技术人员自学用书。

图书在版编目(CIP)数据

PLC控制系统设计项目教程 / 李英辉, 王素芹, 汪甜

主编. -- 上海: 上海交通大学出版社, 2024.11 -- ISBN

978-7-313-31559-5

I. TM571.61

中国国家版本馆CIP数据核字第2024L9C187号

PLC 控制系统设计项目教程

PLC KONGZHI XITONG SHEJI XIANGMU JIAOCHENG

主 编: 李英辉 王素芹 汪 甜

出版发行: 上海交通大学出版社

邮政编码: 200030

印 刷: 三河市宏图印务有限公司

开 本: 787mm × 1092mm 1/16

字 数: 320 千字

版 次: 2025 年 1 月第 1 版

书 号: ISBN 978-7-313-31559-5

定 价: 49.80 元

版权所有 侵权必究

告读者: 如发现本书有印装质量问题请与印刷厂质量科联系

联系电话: 0316-3654239

地 址: 上海市番禺路 951 号

电 话: 021-64071208

经 销: 全国新华书店

印 张: 14.25

印 次: 2025 年 1 月第 1 次印刷

电子书号: ISBN 978-7-89424-908-1

PLC 控制系统设计项目教程

编审委员会

主审

河北工业职业技术大学 郝敏钊

河北诺赛供水工程有限公司 吴亚雷

主编

石家庄职业技术学院 李英辉

衡水职业技术学院 王素芹

池州职业技术学院 汪 甜

副主编

石家庄职业技术学院 曲昀卿

石家庄职业技术学院 刘瑞涛

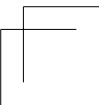
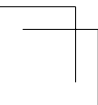
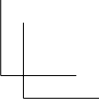
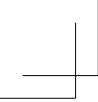
西安职业技术学院 刘 陆

参编

石家庄职业技术学院 乔振民

石家庄职业技术学院 葛彦丽

石家庄职业技术学院 侯 雪



Preface 前言



可编程逻辑控制器（简称 PLC），是专门为工业控制应用而设计的一种通用控制器，它是以微处理器为基础，综合了计算机技术、自动控制技术、通信技术和电气控制技术而发展起来的一种新型工业控制装置。它广泛应用于冶金、机械、电力、交通、建材、化工、食品等工业生产领域，已成为工业自动化的三大支柱之一，是工程技术人员必须具备的基本技术之一。

本书根据职业教育新基建“五金”之一的“金教材”建设要求，结合编者多年的职业教育教学经验和企业实践，以行业发展趋势、企业工作岗位的实际技术需求为目标进行编写。本书具有以下特点。

以就业为导向、紧跟行业发展趋势、适应企业岗位需求、结合专业标准和职业资格，注重学生综合素质培养。

以通用性、科学性为原则，合理筛选教材内容，采用项目导向、任务驱动形式，突出以学生为中心、以能力为本位和以成果为导向。

注重理论知识与技能训练相结合，融入职业素养和课程思政，适应当前高职教育的发展和学生的特点。

通过信息化手段提供微课视频、动画演示等学习资源，融媒体新形态、数字化教材适应学生碎片化学习需求。

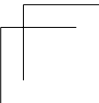
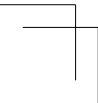
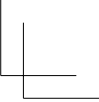
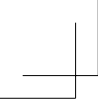
本书全部内容的参考学时数为 64 学时，各院校可以根据各自专业教学的要求和实训室条件对内容进行取舍。

本书在编写过程中，参考了大量资料和文献，在此向相关作者表示衷心的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在疏漏之处，恳请广大读者批评指正。



《PLC 控制系统设计项目教程》
片头

编 者
2024 年 8 月



Contents 目录



项目一 卷帘门控制系统设计1

知识导航	3
一、PLC 基础知识	3
二、基本位逻辑指令	7
三、电气图转换设计法	8
任务实施	11
一、电气控制图分析	11
二、资源分配表设计	12
三、图形转换	12
拓展知识	12
一、PLC 工作原理	12
二、编程规则与编程技巧	14
技能训练	17
一、设计要求	17
二、控制系统分析	17
三、资源分配表设计	17
四、梯形图设计	18
五、工作过程分析	18
作业练习	18
一、设计要求	18
二、控制系统分析	19
三、资源分配表设计	19
四、真值表及逻辑表达式	19
五、梯形图设计	19
六、课后作业	20

项目二 运料小车控制系统设计21

知识导航	23
一、硬件设计及接线	23
二、博途软件操作	28
三、PLC 的置位 / 复位指令	33
任务实施	35
一、硬件系统设计	35
二、梯形图设计	36
拓展知识	37
一、PLC 控制系统设计	37
二、PLC 安装与拆卸	38
技能训练	41
一、设计要求	41
二、确定设计方案	41
三、选择 CPU 类型	42
四、设计硬件电路图	42
五、设计梯形图程序	42
作业练习	43
一、设计要求	43
二、控制系统分析	43
三、I/O 接线图设计	44
四、梯形图设计	44
五、课后作业	45

项目三 延时控制系统设计 47

知识导航	49
一、数据存储器	49
二、定时器指令	51
三、时序设计法	55
任务实施	58
一、控制系统分析	58
二、I/O 分配表设计	59
三、时序图及时序分析表设计	59
四、变量表编辑	59
五、梯形图设计	60
拓展知识	60
一、系统和时钟存储器	60
二、博途仿真软件 PLCSIM	63
技能训练	66
一、设计要求	66
二、控制系统分析	67
三、I/O 分配表设计	67
四、时序图设计及分析	67
五、变量表编辑	67
六、梯形图设计	68
七、仿真调试	69
作业练习	69
一、设计要求	69
二、控制系统分析	69
三、I/O 分配表设计	69
四、时序图设计及分析	70
五、变量表编辑	70
六、梯形图设计	71
七、仿真调试	72
八、课后作业	73

项目四 彩灯控制系统设计 75

知识导航	77
一、边沿检测指令	77
二、数据传送指令	80
三、数据移位指令	83
任务实施	85
一、控制系统分析	85
二、I/O 分配表设计	85
三、变量表编辑	85
四、梯形图设计	85
拓展知识	86
一、程序控制指令	86
二、字逻辑运算指令	92
技能训练	95
一、设计要求	95
二、控制系统分析	95
三、I/O 分配表设计	96
四、梯形图设计	96
作业练习	97
一、设计要求	97
二、控制系统分析	97
三、I/O 分配表设计	98
四、梯形图设计	98
五、课后作业	99

项目五 电子设备控制系统设计 101

知识导航	103
一、计数器指令	103
二、数据比较指令	106
三、数学运算指令	108
任务实施	111
一、控制系统分析	111

二、I/O 分配表	111
三、变量表编辑	112
四、梯形图设计	112
拓展知识	114
一、数据转换指令	114
二、流程图设计法	116
技能训练	119
一、设计要求	119
二、控制系统分析	119
三、I/O 分配表设计	119
四、流程图设计	120
五、梯形图设计	120
作业练习	122
一、设计要求	122
二、控制系统分析	122
三、I/O 分配表设计	122
四、流程图设计	123
五、梯形图设计	123
六、课后作业	124

项目六 顺序控制系统设计 125

知识导航	127
一、顺序设计法	127
二、单一序列程序设计	129
三、并行序列程序设计	132
任务实施	134
一、控制系统分析	134
二、输入 / 输出地址分配	134
三、PLC 变量定义	134
四、顺序功能图设计	135
五、梯形图设计	136
拓展知识	138
一、选择序列程序设计	138
二、跳转结构程序设计	140

技能训练	142
一、设计要求	142
二、控制系统分析	143
三、输入 / 输出地址分配	143
四、PLC 变量定义	143
五、顺序功能图设计	144
六、梯形图设计	144
作业练习	145
一、设计要求	145
二、控制系统分析	146
三、输入 / 输出地址分配	146
四、PLC 变量定义	146
五、顺序功能图设计	147
六、梯形图设计	147
七、课后作业	149

项目七 工业装置控制系统设计 151

知识导航	153
一、程序结构及编程方法	153
二、函数及其应用	155
三、函数块及其应用	158
任务实施	160
一、控制系统分析	160
二、I/O 分配表	160
三、变量表编辑	161
四、函数块接口变量	162
五、梯形图设计	162
拓展知识	165
一、组织块及其应用	165
二、中断系统及中断指令	170
技能训练	174
一、设计要求	174
二、控制系统分析	174

三、I/O 分配表设计	174
四、变量表编辑	175
五、梯形图设计	175
作业练习	177
一、设计要求	177
二、控制系统分析	178
三、I/O 分配表设计	178
四、变量表编辑	178
五、梯形图设计	178
六、课后作业	180

项目八 通信控制系统设计 181

知识导航	183
一、PLC 通信技术	183
二、开放式用户通信指令	186

任务实施	194
一、控制系统分析	194
二、资源分配表设计	195
三、硬件连接及组态	195
拓展知识	200
一、S7 通信应用	200
二、自由端口通信应用	206
技能训练	210
一、设计要求	210
二、控制系统分析	210
作业练习	212
一、设计要求	212
二、控制系统分析	212
三、课后作业	215

参考文献 217



项目一

卷帘门控制系统设计

项目导入

卷帘门广泛应用于商场、超市、车库等场所，它是以多关节活动的门片串联在一起，在固定的滑道内，以门上方卷轴为中心转动升降的门。电动卷帘门通过按钮控制电机带动卷帘中心轴转动，从而实现卷帘门的升降控制。

本项目首先介绍 PLC 基础知识、基本位逻辑指令和电气图转换设计法三个知识点，完成任务实施——卷帘门控制系统设计；然后介绍 PLC 工作原理、编程规则与技巧两个知识点，完成技能训练——卷帘门单按钮控制系统设计；最后利用本项目所学知识完成作业练习——卷帘门两地控制系统设计。

知识目标	技能目标	素养目标
(1) 理解 PLC 的组成、分类、编程语言等基础知识； (2) 掌握 PLC 工作原理及编程规则与技巧	(1) 利用基本位逻辑指令设计梯形图； (2) 应用电气图转换设计法设计和优化梯形图	(1) 具有良好的独立自主学习能力和对比分析能力； (2) 具备一定的精益求精意识和节能环保意识

设计要求

利用 PLC 控制卷帘门工作，按下启动按钮后卷帘门上升，按下停止按钮后卷帘门停止。

设计分析

- (1) 学习 PLC 基础知识，包括定义、组成、分类、编程语言、特点及性能指标等。
- (2) 分析基本位逻辑指令的格式及功能，包括触点指令、线圈指令等。
- (3) 掌握电气图转换设计法的设计原理、转换规则及编程过程。

课程思政

国产 PLC 发展现状

工业智能化对于数字化采集、共享与处理的需求推动了 PLC 技术的变革与发展。为了加快解决“卡脖子”难题，国家加速推进国产自主可控宏观战略，国内 PLC 厂商加大了自主研发和创新的投入力度，在硬件设计和软件编程上逐渐摆脱对国外技术的依赖，在产品质量、可靠性、性价比以及客户服务等方面取得了显著进步，从而增强了在国内外市场的竞争力和吸引力。

知识导航

一、PLC 基础知识

1. 定义

美国数字化设备公司于 1969 年研制出世界上第一台可编程控制器 (programmable Logic Controller, PLC), 实现了生产的自动化控制。PLC 被公认为现代工业自动化的三大支柱 (PLC、机器人、CAD/CAM) 之一。

PLC 自问世以来经历了 50 多年的发展, 国际电工委员会从属性、功能和设计原则三个方面对 PLC 进行定义。PLC 是一种专门为在工业环境中应用而设计的数字运算操作的电子装置。它采用可以编制程序的存储器, 以便在内部存储执行逻辑运算、顺序运算、定时、计数和算术运算等操作的指令, 并能通过数字式或模拟式的输入和输出, 控制各种类型的机械或生产过程。PLC 及其有关的外围设备都应遵循易于与工业控制系统形成一个整体和易于扩展其功能的原则而设计。

2. 硬件组成

PLC 硬件组成如图 1-1 所示, 其主要由中央处理单元 (CPU)、存储器、输入 / 输出单元、电源和扩展接口单元等组成。

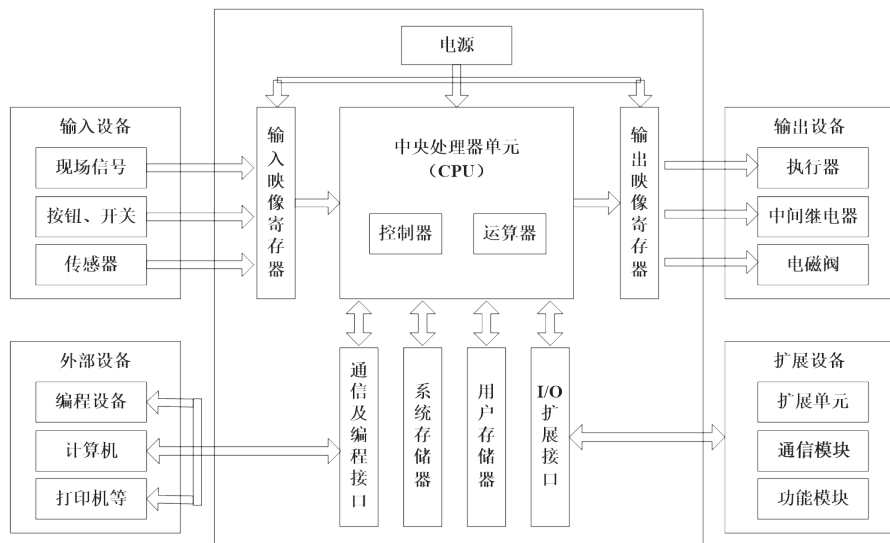


图 1-1 PLC 硬件组成

1) 中央处理单元 (CPU)

中央处理单元 (CPU) 是 PLC 的核心部件, 一般由控制器和运算器组成, 其功能是完成 PLC 内所有的控制和监视操作。

2) 存储器

存储器包括系统存储器 (ROM) 和用户存储器 (RAM), 用于存放系统程序、用户程序和工作数据。

3) 输入 / 输出单元

输入 / 输出单元分为输入映像寄存器和输出映像寄存器, 输入映像寄存器用于接收外部设备输入, 输出映像寄存器用于驱动输出设备。

4) 电源

PLC 一般使用 220 V 交流电或者 24 V 直流电驱动, 内部的电源为 CPU、存储器等电路提供直流电源, 使 PLC 能正常工作。

5) 扩展接口单元

扩展接口单元包括 I/O 扩展接口和通信及编程接口, 其中 I/O 扩展接口用来扩展 I/O 点数, 通信及编程接口用于 PLC 与外部设备的通信及程序下载等。

3. 分类

PLC 可以按生产厂家所在地、输入 / 输出 (I/O) 点数和结构形式分类。

1) 按生产厂家所在地分类

按生产厂家所在地, PLC 可分为欧美品牌、日本品牌和中国品牌三类, 其中占主流地位的是欧美品牌和日本品牌, 我国也有自主品牌的 PLC 产品, 各主流品牌的 PLC 产品如图 1-2 所示。本书以市场占有率较高的德国西门子公司产品 S7-1200 为例介绍。

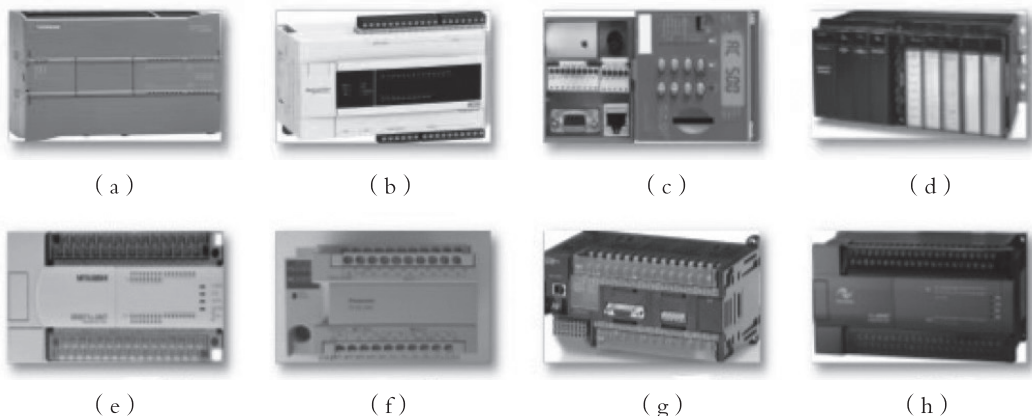


图 1-2 各主流品牌的 PLC 产品

(a) 德国西门子; (b) 法国施耐德; (c) 瑞士 ABB; (d) 美国 GE; (e) 日本三菱; (f) 日本松下; (g) 日本欧姆龙; (h) 中国汇川。

欧美品牌: 德国西门子、法国施耐德、瑞士 ABB、美国 GE。

日本品牌: 三菱、松下、欧姆龙。

中国品牌: 汇川。

2) 按输入 / 输出 (I/O) 点数分类

按输入 / 输出 (I/O) 点数, PLC 可分为小型机、中型机和大型机三类。

小型机：I/O 总点数在 256 点以下，如 S7-200、S7-1200。

中型机：I/O 总点数在 256~2 048 点之间，如 S7-300。

大型机：I/O 总点数在 2 048 点以上，如 S7-400。

3) 按结构形式分类

按结构形式，PLC 可分为整体式和模块式两类。

整体式：各组成部分集成在一起，如 S7-200、S7-1200。

模块式：各组成部分为独立模块，如 S7-300、S7-400。

4. 编程语言

PLC 有五种标准编程语言，分别是梯形图（ladderLogic programming language, LAD）、指令表（instruction list, IL）、功能区块图（function block diagram, FBD）、顺序功能图（sequential function chart, SFC）和结构化控制语言（structured control language, SCL）。其中梯形图以其直观、形象、实用、简单的特点为广大用户所熟悉和掌握。S7-1200 只有梯形图、功能区块图和结构化控制语言三种编程语言。

1) 梯形图

梯形图（见图 1-3）是由接触器和继电器控制系统中的控制线路图演变而来的，是面向对象的图形化编程语言。梯形图由触点、线圈、方框和母线等构成。触点代表逻辑控制条件，有常开和常闭两种形式。线圈代表逻辑输出结果，当能流流到时该线圈得电。方框代表特定功能指令，当能流通过时执行其功能。两侧垂线称为左、右母线（右母线通常省略），左母线可看成是能量的提供者，触点闭合则能量通过，否则阻断，这种能量流称为能流。



图 1-3 梯形图

2) 功能区块图

功能区块图（见图 1-4）是一种类似数字逻辑门电路的编程语言，用类似与门、或门的方框来表示逻辑关系。方框的左侧为逻辑运算的输入变量，右侧为输出变量，输入、输出端的小圆圈表示非运算，方框用导线连接在一起，信号自左向右流动。

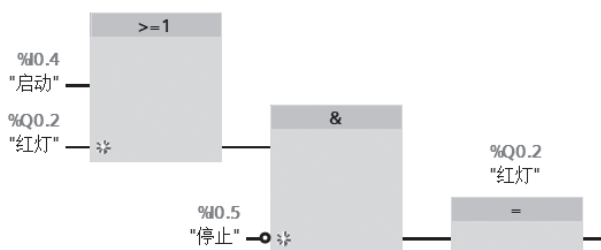


图 1-4 功能区块图

3) 结构化控制语言

结构化控制语言如图 1-5 所示，它是一种类似 Pascal 的高级语言，使用 CASE、IF-THEN-ELSE、GOTO 等语句控制操作，使用标准编程运算符（:=）表示赋值等。IF 或 ELSIF 后的语句表示条件，THEN 后的语句表示结果，END_IF 表示结束。

IF...	CASE... OF...	FOR... TO DO...	WHILE... DO...	(*...*)	REGION
1	IF	"SB1"=0 OR "FR"=0	THEN		
2		"KM" := 0;			
3	ELSIF	"SB2" = 1	THEN		
4		"KM" := 1;			
5	END_IF;				

图 1-5 结构化控制语言

5. 主要特点

1) 抗干扰能力强、可靠性高

PLC 采用集成电路，其 I/O 系统有通道保护和信号调理电路。硬件采用隔离、屏蔽、滤波等抗干扰措施，软件采用数字滤波措施，其本身具有较强的自诊断功能，可以保证核心设备在正常情况下工作。

2) 编程方法直观，易学易会

梯形图的图形符号和表达方式形象直观，易学易懂。梯形图实际上是一种面向用户的高级语言，PLC 在执行梯形图程序时，用解释程序将它“翻译”成汇编语言后再去执行。

3) 适应性强，设计维护方便

PLC 配有齐全的硬件装置，用户可根据不同功能灵活配置，具有较强的带负载能力。PLC 用软件编程控制，使控制柜安装、接线的工作量大大减少，用户可先进行模拟调试，以节约现场安装和调试时间。

4) 系统结构简化、体积小、能耗低

PLC 使控制系统的配线大量减少，它采用半导体集成化电路，降低能耗，是机电一体化技术的理想控制器。与继电器控制系统相比，使用 PLC 后可将开关柜的体积缩小到原来体积的 1/2~1/10。

6. 应用领域

1) 逻辑控制

逻辑控制是 PLC 较基本、较广泛的应用领域，PLC 取代传统的继电器控制电路，实现逻辑控制、顺序控制等，既可用于控制单台设备，也可用于多机群控及自动化流水线，如注塑机、印刷机、组合机床、电镀流水线等。

2) 运动控制

PLC 可用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说，PLC 一般使用专用的运动控制模块，如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块，可方便地控制各种运动装置，如各种机床、机器人、电梯等。

3) 过程控制

在工业生产过程中，有温度、压力、液位等连续变化的模拟量，过程控制通过配有 A/D、D/A 转换模块及智能 PID 模块对生产过程中的模拟量进行闭环 PID 调节控制，如冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合。

4) 数据处理

PLC 具有算术运算、数据传送、转换、排序和查表等功能，可以完成数据的采集、分析及处理。将这些数据与存储器中的参考值进行比较，完成一定的控制操作，如无人控制的柔性制造系统、造纸、食品工业中的大型控制系统等。

5) 通信联网

PLC 的通信包括 PLC 与 PLC 的通信、PLC 主机与远程 I/O 之间的通信及 PLC 与其他智能设备的通信。通过通信控制，PLC 与其他智能设备一起构成工厂自动化通信网络系统，如 PLC 与变频器通信、PLC 与触摸屏通信等。

二、基本位逻辑指令

基本位逻辑指令包括触点指令和线圈指令两类。

1. 触点指令

触点指令包括常开触点指令、常闭触点指令和取非触点指令三种，如图 1-6 所示。常开触点指令和常闭触点指令需要添加位操作数 %bit，取非触点指令无需添加位操作数 %bit，常闭触点指令中带“/”符号。这里，%bit 表示指令操作的位地址，“Tag_1”表示该位地址的名称（可由用户定义）。当存储器某位地址的位（bit）值为 1 时，与之对应的常开触点位值为 1，表示该常开触点闭合，而与之对应的常闭触点位值为 0，表示该常闭触点断开；反之，当存储器某位地址的位（bit）值为 0 时，与之对应的常开触点位值为 0，表示该常开触点断开，而与之对应的常闭触点位值为 1，表示该常闭触点闭合。取非触点指令用来改变能流的状态，能流到达取非触点指令时取非后停止，能流未到取非触点指令时取非后通过。

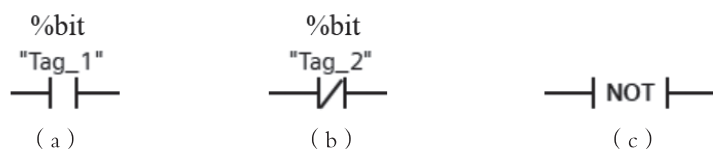


图 1-6 触点指令

(a) 常开触点指令；(b) 常闭触点指令；(c) 取非触点指令。

触点指令可组合执行逻辑运算。例如，将两个触点串联可以创建与运算，将两个触点并联可以创建或运算。图 1-7 为逻辑运算梯形图，在图（a）中，通过串联两个触点指令来表示与运算，第一个触点闭合，第二个触点不变，能流才能通过；在图（b）中，通过并联两个触点指令来表示或运算，第一个触点或第二个触点闭合其中一个，能流就能通过。

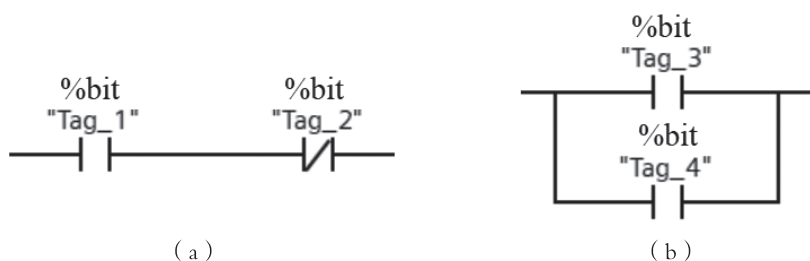


图 1-7 逻辑运算梯形图

(a) 与运算; (b) 或运算。

2. 线圈指令

线圈指令包括输出线圈指令和反向输出线圈指令两种,如图 1-8 所示,反向输出线圈指令中带“/”符号。如果有能流通过输出线圈,则输出位(bit)值为 1;如果没有能流通过输出线圈,则输出位(bit)值为 0。如果有能流通过反向输出线圈,则输出位(bit)值为 0;没有能流通过反向输出线圈,则输出位(bit)值为 1。



图 1-8 线圈指令

(a) 输出线圈指令; (b) 反向输出线圈指令。

【案例 1-1】图 1-9 为梯形图,分析该梯形图的功能。

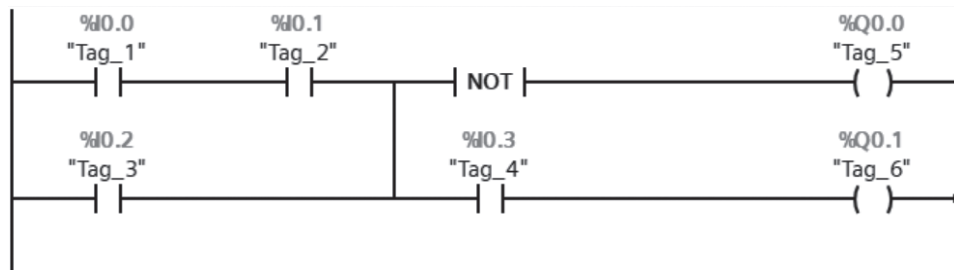


图 1-9 【案例 1-1】的梯形图

功能如下:当输入 I0.0 与 I0.1 的逻辑结果为 0,并且输入 I0.2 的信号状态也为 0 时,输出 Q0.0 为 1。当输入 I0.0、I0.1 与 I0.3 的信号状态均为 1,或者输入 I0.2 和 I0.3 的信号状态均为 1 时,输出 Q0.1 为 1。

三、电气图转换设计法

1. 设计原理

电气图转换设计法是指将由继电器—接触器组成的电气控制系统中的控制线路,按

照一定的规则转换为 PLC 控制系统中的梯形图。其特点是可以借鉴电气原理图中的控制电路，缩短程序编写时间，快速地将传统的电气控制系统改为现代的 PLC 控制系统。

2. 转换规则

1) 电源及地线

电气图中的控制电路逆时针旋转 90° ，控制电路中的电源线转换成梯形图的左母线，地线转换成梯形图的右母线（省略）。

2) 图形结构

控制电路中的每个支路对应梯形图中的一个梯级。转换时不改变电路中的串联和并联关系，根据实际接线调整常开和常闭触点的形式，最好与原图保持一致。

3) 输入信号

按钮、开关等转换成 PLC 中的输入继电器 I，每个 I 对应一个输入端子，用于接收外部输入信号。I 的每个字节包含 8 位，如 I0.0~I0.7。

4) 输出信号

接触器、指示灯等转换成 PLC 中的输出继电器 Q，每个 Q 对应一个输出端子，用于驱动外部输出负载。Q 的每个字节包含 8 位，如 Q0.0~Q0.7。

5) 中间继电器

中间继电器转换成 PLC 中的位存储器 M，M 不对应接线端子，不能接收外部输入信号，也不驱动外部输出负载。M 的每个字节包含 8 位，如 M0.0~M0.7。

6) 时间继电器

时间继电器转换时用 PLC 内部的定时器来代替，可以实现延时通电和延时断电等多种延时功能。

7) 热继电器

热继电器的处理方式有两种：如果 PLC 的 I/O 点比较充裕，则可给热继电器分配输入继电器 I，接线时可连接常开触点或常闭触点（通常连接常开触点）；如果为了节约 I/O 点数，则可将热继电器的常闭触点直接串联到输出线路中。

3. 设计过程

应用电气图转换设计法进行电气图转换梯形图设计时，首先根据电气原理图进行资源分配，然后根据电气图转换设计法的转换规则进行转换，最后将转换后的梯形图进行优化完善。下面以一个案例来介绍电气图转换设计法的设计过程。

【案例 1-2】将图 1-10 所示的电气原理图按照电气图转换设计法转换成梯形图。

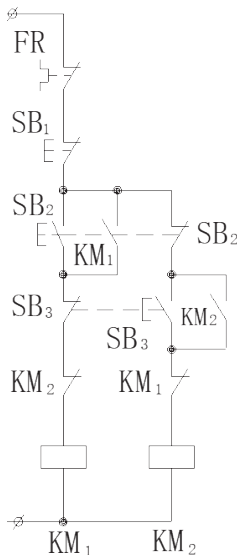


图 1-10 电气原理图

1) 资源分配

根据电气原理图中的控制电路分析其输入信号、输出信号、中间状态和其他信号，然后按顺序填写到资源分配表（表 1-1）中。

表 1-1 资源分配表

电气符号	资源地址	功能作用	电气符号	资源地址	功能作用
FR	I0.0	过载保护	KM1	Q0.1	正转接触器
SB1	I0.1	停止按钮			
SB2	I0.2	正转按钮	KM2	Q0.2	反转接触器
SB3	I0.3	反转按钮			

2) 图形转换

根据转换规则从左到右、由下到上依次转换，图 1-11 为转换后的梯形图。

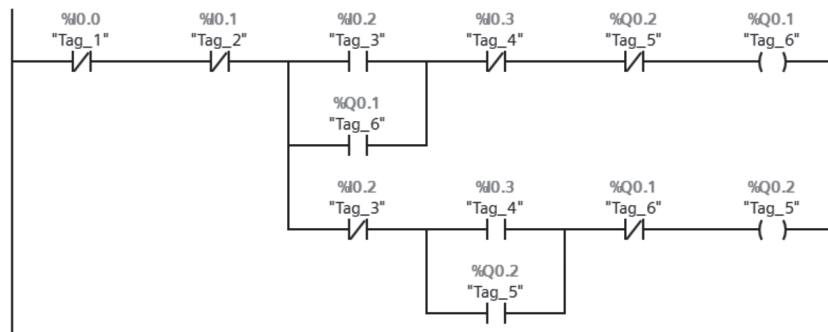


图 1-11 转换后的梯形图

3) 优化完善

将复杂的梯级拆分为多个梯级进行梯形图优化，便于分析。将梯形图中较复杂的部分移动到梯形图的左侧或者上部，图 1-12 为优化完善后的梯形图。

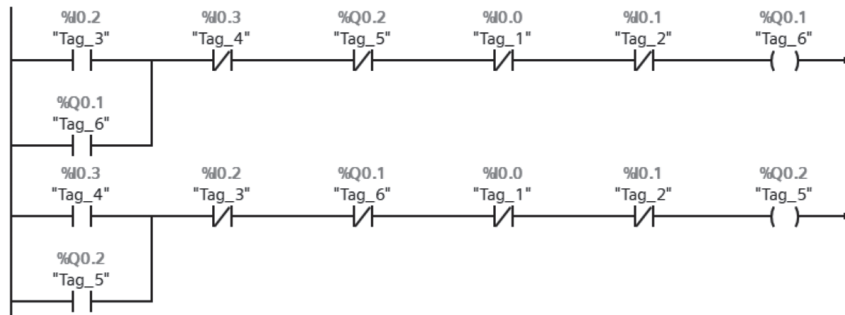


图 1-12 优化完善后的梯形图

任务实施

一、电气控制图分析

卷帘门电气控制系统实际是由电动机启停控制的，电动机启停控制电气原理如图 1-13 所示，其中，图 (a) 为主电路，图 (b) 为控制电路，该电路是典型的启一保一停控制电路。下面采用电气图转换设计法进行基于 PLC 的卷帘门控制系统设计。

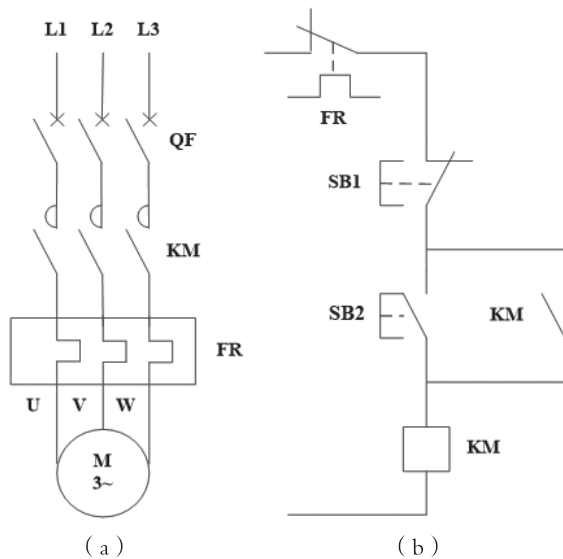


图 1-13 电动机启停控制电气原理图

(a) 主电路; (b) 控制电路。

二、资源分配表设计

通过分析电动机启停控制电气原理图可知,改用 PLC 控制后,系统需要三个输入信号和一个输出信号,资源分配见表 1-2。

表 1-2 资源分配表

电气符号	资源地址	功能作用	电气符号	资源地址	功能作用
FR	I0.0	过载保护	SB2	I0.2	启动按钮
SB1	I0.1	停止按钮	KM	Q0.0	接触器

三、图形转换

根据电气图转换设计法的转换规则和设计过程,图 1-14 为转换并优化完成后的卷帘门控制系统梯形图。

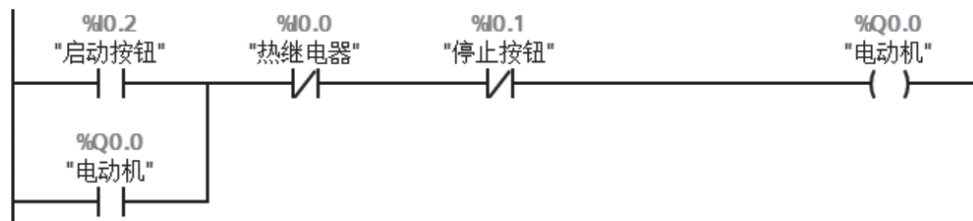


图 1-14 转换并优化完成后的卷帘门控制系统梯形图

拓展知识

一、PLC 工作原理

1. PLC 控制系统与继电器控制系统的差异

PLC 控制系统与继电器控制系统在控制方式、工作速度、延时控制和工作方式四个方面存在差异。

1) 控制方式

继电器控制系统采用硬件接线,利用继电器机械触点的串联或并联及时间继电器的滞后动作等组合形成控制逻辑,只能完成既定的控制逻辑。

PLC 控制系统采用存储逻辑,以程序方式存储在存储器中,想要改变控制逻辑时只需修改程序,即改变“软接线”即可。

2) 工作速度

继电器控制系统依靠触点的机械动作实现逻辑控制,工作速度慢,触点动作为毫秒级,机械触点有抖动现象。

PLC 控制系统依靠程序指令控制半导体电路来实现控制,工作速度快,触点动作为

微秒级，动作严格同步，无触点抖动现象。

3) 延时控制

继电器控制系统依靠时间继电器的滞后动作实现延时控制，因而精度不高，受环境影响大，调整定时困难。

PLC 控制系统采用半导体集成电路作为定时器，时钟脉冲由晶体振荡器产生，因此精度高，不受环境影响，调整定时方便。

4) 工作方式

继电器控制系统采用并行运行方式，即只要线圈得电，对应的常开触点和常闭触点就能立即动作，改变工作状态。

PLC 控制系统采用循环扫描方式，即按用户程序的先后顺序连续逐条循环执行，某线圈得电时，其后的触点在本周期动作，其前的触点下一周期再动作。

2. 工作模式

PLC 的 CPU 有三种工作模式，即 STOP（停止）模式、STARTUP（启动）模式和 RUN（运行）模式。CPU 的状态 LED 灯指示当前的工作模式（见图 1-15），黄色灯指示 STOP 模式，闪烁灯指示 STARTUP 模式，绿色灯指示 RUN 模式。

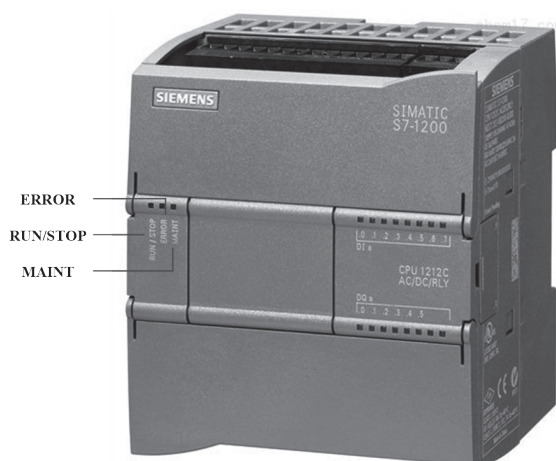


图 1-15 PLC 工作模式

1) STOP 模式

CPU 不执行用户程序，所有输出被禁止或按组态时的设置提供替代值或保持最后的输出值，以保证系统处于安全状态，在 STOP 模式下才可以下载项目。

2) STARTUP 模式

执行一次启动组织块，在 STARTUP 模式下不处理任何中断事件，若系统检测到某种错误，CPU 将不能进入 RUN 模式，并保持 STOP 模式。

3) RUN 模式

重复执行程序循环组织块，在任何时刻都可能发生中断事件并对其进行处理，CPU 支持通过暖启动进入 RUN 模式。

3. 工作过程

PLC 采用循环扫描的工作方式，其工作过程可分为五个阶段，即自我诊断、通信处理、输入采样、程序执行和输出刷新。

1) 自我诊断

每次扫描用户程序之前，都先执行故障自我诊断程序。自我诊断内容包括 I/O 部分、存储器、CPU 等，发现异常停机显示出错。若自我诊断正常，则继续向下扫描。

2) 通信处理

PLC 会检查是否有与编程器、计算机等的通信请求，若有则进行相应处理，如完成数据的接收和发送任务等。

3) 输入采样

PLC 的 CPU 会对各个输入端进行扫描，将所有输入端的状态送到输入映像寄存器。

4) 程序执行

CPU 逐条执行用户指令程序，即按程序要求对数据进行逻辑和算术运算，再将正确的结果送到输出映像寄存器中。

5) 输出刷新

当所有的指令执行完毕后，集中把输出映像寄存器的状态通过输出部件转换成被控设备所能接收的电压信号或电流信号，以驱动被控设备。

PLC 对用户程序进行循环扫描可划分为三个阶段，即输入采样、程序执行和输出刷新，其中程序执行阶段决定扫描周期的长短，PLC 对用户程序循环扫描的工作过程如图 1-16 所示。

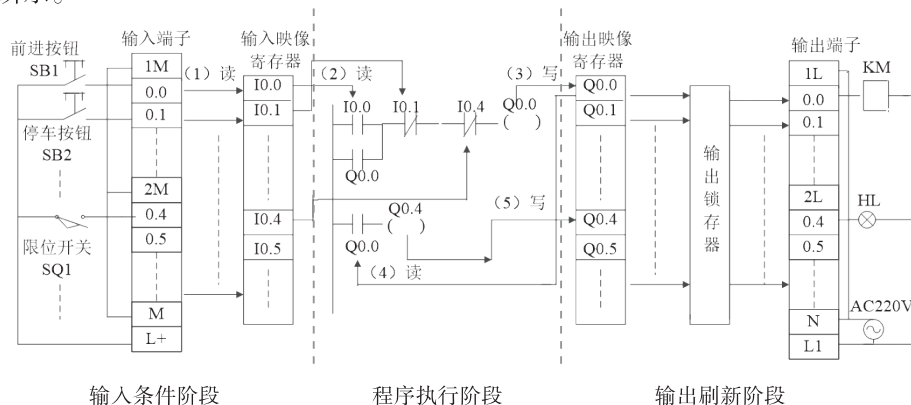


图 1-16 PLC 对用户程序循环扫描的工作过程

二、编程规则与编程技巧

1. 编程规则

1) 按自上而下，从左到右的顺序编写

梯形图的行需要自上而下编写，每一行按照从左到右顺序编写。即以左母线为起点，

右母线为终点（通常省略右母线），从左向右分行编写。每一行左侧是由触点群组成的工作条件，最右侧是线圈表达的工作结果，如图 1-17 所示。

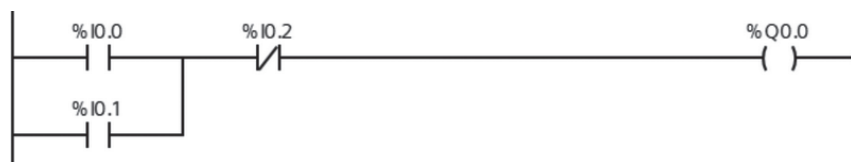


图 1-17 按自上而下，从左到右的顺序编写的梯形图

2) 每个梯级必须有一个输出元件

梯形图可以由多个梯级组成，一个或多个输出元件可构成一个梯级，每个梯级可由多个支路组成，如图 1-18 所示。

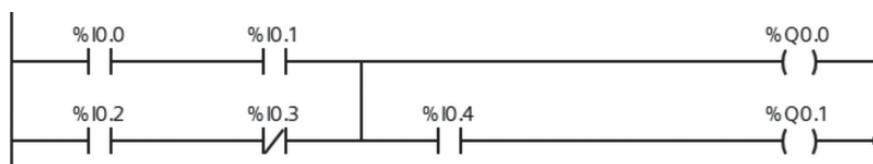


图 1-18 每个梯级必须有一个输出元件的梯形图

3) 触点和线圈的使用要求

触点可以任意串联、并联，且同一触点可以反复使用，次数不限；输出线圈只能并联，不能串联，在同一程序中同一线圈不能重复使用。图 1-19 为触点和线圈使用要求的梯形图。

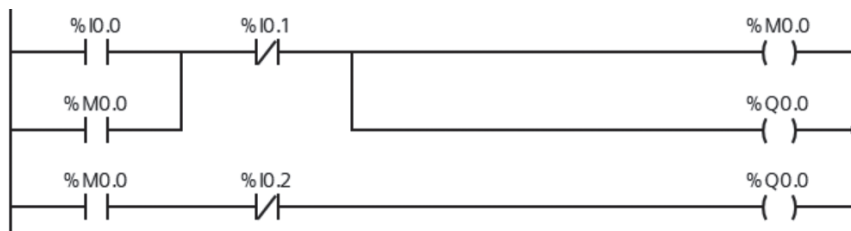


图 1-19 触点和线圈使用要求的梯形图

4) 触点和线圈的位置要求

触点不能放在线圈的右边，线圈不能直接与左母线相连，必须由触点驱动线圈工作。图 1-20 为触点和线圈位置要求的梯形图。

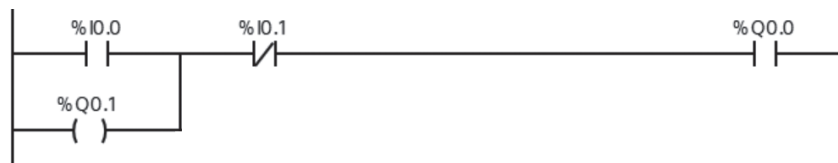


图 1-20 触点和线圈位置要求的梯形图

2. 编程技巧

1) 梯形图要体现上重下轻

串联多的支路应尽量放在上部，这样梯形图看起来上重下轻，可以减少程序的步数，如图 1-21 所示。

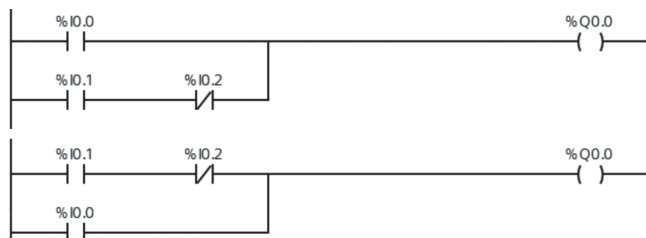


图 1-21 体现上重下轻的梯形图

2) 梯形图要体现左重右轻

并联多的支路应尽量靠近左母线，这样梯形图看上去左重右轻，可以减少程序的步数，如图 1-22 所示。

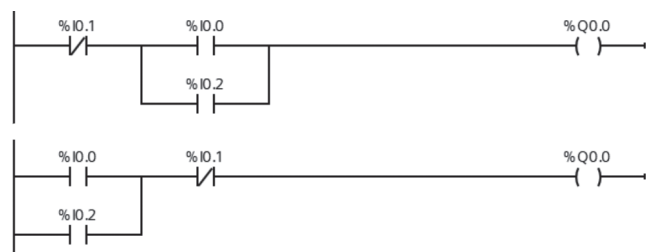


图 1-22 体现左重右轻的梯形图

3) 设置中间单元

在梯形图中，若多个线圈受某一触点串联、并联电路的控制，可设置该电路控制的存储器位，简化程序，如图 1-23 所示。

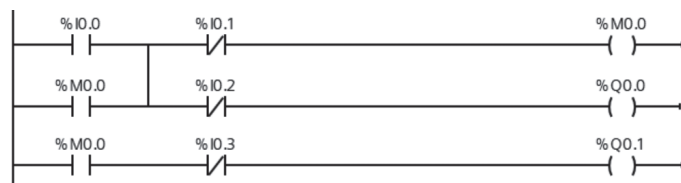


图 1-23 设置中间单元的梯形图

4) 减少输入、输出信号

PLC 的价格与 I/O 点数有关，因此，减少 I/O 点数是降低硬件费用的主要措施。如果几个输入器件触点的串联、并联电路作为一个整体出现，则可以将它们作为一个输入信号，分配一个输入点。如果某个器件的触点只用一次并且与 PLC 输出端的负载串联，则不必将它作为 PLC 输出端口的驱动对象，可以将其放在 PLC 外部的输出回路，与外部负载串联。

技能训练

一、设计要求

利用电气图转换设计法和梯形图的编程规则与编程技巧，将卷帘门单按钮电气控制系统进行 PLC 技术改造，并分析改造后的 PLC 控制系统的工作过程。卷帘门单按钮电气控制原理如图 1-24 所示。

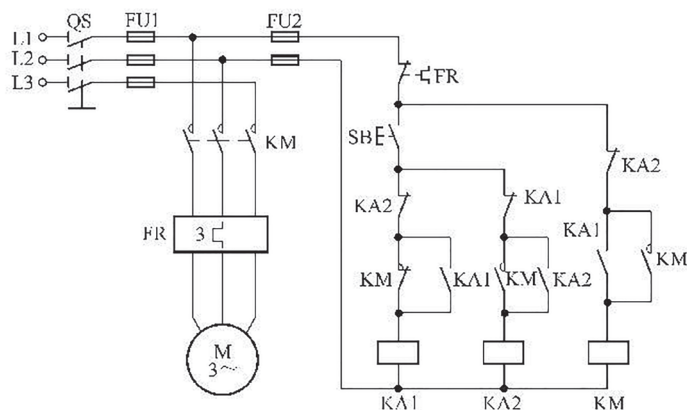


图 1-24 卷帘门单按钮电气控制原理图

二、控制系统分析

首先根据电气图转换设计法进行 PLC 资源分配与梯形图设计，然后根据梯形图的编程规则与编程技巧进行梯形图优化设计，最后根据 PLC 工作原理分析转换后的梯形图工作过程。

三、资源分配表设计

电气控制图中的热继电器 FR 和按钮 SB 分配输入资源地址 I，接触器 KM 分配输出资源地址 Q，中间继电器 KA1 和 KA2 分配位存储器资源地址 M，资源分配见表 1-3。

表 1-3 资源分配表

电气符号	资源地址	功能作用	电气符号	资源地址	功能作用
FR	I0.0	过载保护	KM	Q0.0	接触器
SB	I0.1	控制按钮	KA1	M0.1	中间状态
			KA2	M0.2	中间状态

四、梯形图设计

根据卷帘门单按钮电气控制原理图可知,该控制电路有三个线圈,可将电气图转换为三个梯级的梯形图,每个梯级有一个独立的分支,然后根据梯形图的编程规则与编程技巧进行优化,图 1-25 为由此设计的梯形图。

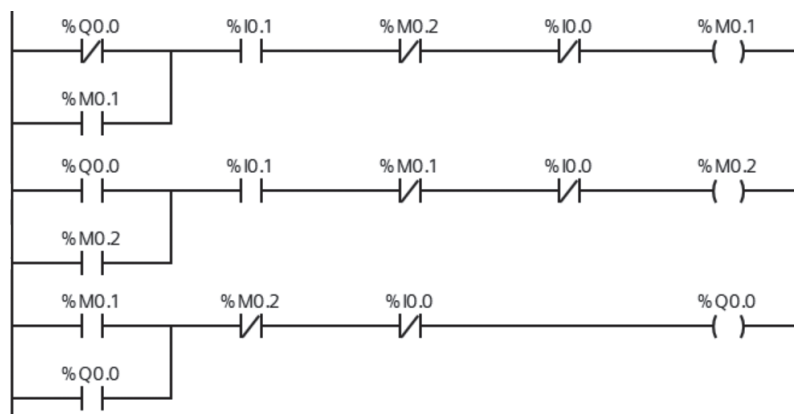


图 1-25 梯形图

五、工作过程分析

根据 PLC 对用户程序进行循环扫描的工作方式,输入采样阶段时采集 I0.0 和 I0.1 的状态,当 I0.0 不动作、常开触点 I0.1 闭合时,循环扫描使得第一梯级的线圈 M0.1 得电,第二梯级的线圈 M0.2 因为 M0.1 常闭触点断开而无法得电,第三梯级的线圈 Q0.0 因为常开触点 M0.1 闭合而得电。当常开触点 I0.1 断开时,循环扫描使得线圈 M0.1 失电,线圈 M0.2 和线圈 Q0.0 的状态保持不变。当 I0.1 再次闭合时,由于常闭触点 Q0.0 已断开,线圈 M0.1 无法得电,常开触点 Q0.0 已闭合使得线圈 M0.2 得电,常闭触点 M0.2 断开使得线圈 Q0.0 失电。当常开触点 I0.1 再次断开时,线圈 M0.2 失电,各线圈均处于最初的状态。由此可以得知,该梯形图实现了卷帘门单按钮控制,即奇数次按下控制按钮 SB 时,接触器 KM 得电,驱动卷帘门工作,偶数次按下控制按钮 SB 时,接触器 KM 失电,卷帘门停止工作。

作业练习

一、设计要求

设计卷帘门两地控制系统,操作 A 地或者 B 地开关后卷帘门工作;卷帘门工作时,操作 A 地或者 B 地开关后卷帘门停止。

二、控制系统分析

卷帘门两地控制系统属于典型的逻辑控制系统，PLC 具有逻辑控制功能。逻辑设计法有三个设计步骤，首先根据设计要求进行 PLC 资源分配，然后列写真值表及逻辑表达式，最后将逻辑表达式转换为梯形图。

三、资源分配表设计

卷帘门两地控制系统需要两个输入资源地址和一个输出资源地址，其中 A 地和 B 地的开关 SA1 和 SA2 分配输入资源地址 I，接触器 KM 分配输出资源地址 Q，资源分配见表 1-4。

表 1-4 资源分配表

电气符号	资源地址	功能作用	电气符号	资源地址	功能作用
SA1	I0.1	A 地开关	KM	Q0.0	接触器
SA2	I0.2	B 地开关			

四、真值表及逻辑表达式

根据设计要求和资源分配表列写的真值见表 1-5。

表 1-5 真值表

I0.1 状态	I0.2 状态	Q0.0 状态	I0.1 状态	I0.2 状态	Q0.0 状态
0	0	0	1	0	1
0	1	1	1	1	0

式（1-1）为根据真值表列写的逻辑表达式。

$$Q0.0 = \overline{I0.1} \cdot I0.2 + I0.1 \cdot \overline{I0.2}$$

(1-1)

五、梯形图设计

逻辑表达式进行梯形图转换时，两者的与运算转换为串联，两个支路的或运算转换为并联，非运算将常开触点转换为常闭触点，图 1-26 为由此逻辑表达式转换的梯形图。

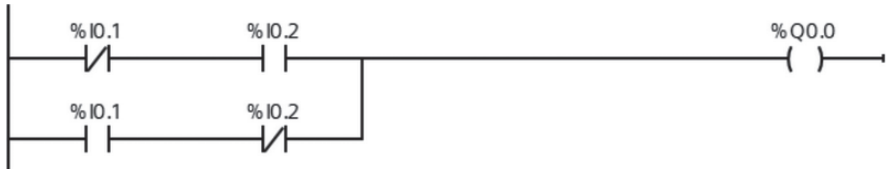


图 1-26 逻辑表达式转换的梯形图



在线测试

六、课后作业

设计卷帘门两地控制系统，按下 A 地或者 B 地启动按钮后卷帘门工作，卷帘门工作时，按下 A 地或者 B 地停止按钮后卷帘门停止。