

电 气 信 息 工 程 丛 书

# 西门子PLC 高级应用实例精解

第 2 版

主 编 向晓汉

副主编 王飞飞



本书配有90个源代码和12个视频文件

下载网址为 [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

电气信息工程丛书

# 西门子 PLC 高级应用实例精解

第 2 版

主 编 向晓汉

副主编 王飞飞

主 审 陆金荣



机械工业出版社

本书从实用的角度出发,用实例讲解西门子 S7-200/S7-1200/S7-300/S7-400 PLC 的高级应用,包括梯形图的编写方法、PLC 在过程控制中的应用、PLC 在运动控制中的应用、PLC 的通信及其通信模块的应用、PLC 在变频器调速系统中的应用、PLC 软件仿真和 PLC 故障诊断;用实际工程的开发过程详细介绍了每个实例,便于读者模仿学习;每个实例都有详细的软件、硬件配置清单,并配有接线图和程序。本书的配套资源中有重点内容的程序和操作视频资料。

本书既可供已入门的 PLC 工程技术人员参考,也可供高校教师和学生使用。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

西门子 PLC 高级应用实例精解/向晓汉主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2015. 9

(电气信息工程丛书)

ISBN 978 - 7 - 111 - 51393 - 3

I. ①西… II. ①向… III. ①plc 技术 IV. ①TM571. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 206426 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:时 静 责任编辑:时 静

责任校对:张艳霞 责任印制:李 洋

北京机工印刷厂印刷 (三河市南杨庄国丰装订厂装订)

2016 年 7 月第 2 版·第 2 次印刷

184mm × 260mm · 23 印张 · 566 千字

3001 - 5500 册

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 51393 - 3

定价: 59.80 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

服务咨询热线: (010) 88361066

机工官网: [www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)

读者购书热线: (010) 68326294

机工官博: [weibo.com/cmp1952](http://weibo.com/cmp1952)

(010) 88379203

教育服务网: [www.cmpedu.com](http://www.cmpedu.com)

封面防伪标均为盗版

金书网: [www.golden-book.com](http://www.golden-book.com)

# 前 言

随着计算机技术的发展，以可编程控制器、变频器调速和计算机通信等技术为主体的新型电气控制系统已经逐渐取代传统的继电器电气控制系统，并广泛应用于各行业。由于西门子 PLC 所具有的卓越性能，使其在工控市场占有非常大的份额，应用十分广泛。但相当多的读者反映：尽管西门子的 PLC 已经入门，但对于 PLC 的通信、PLC 在过程控制中的应用和 PLC 在运动控制中的应用等“高级”技术无从下手，感觉很难，因此，为了使读者能更好地掌握相关知识，我们在总结长期的教学经验和工程实践的基础上，联合相关企业人员，共同编写了《西门子高级应用实例精解》第 1 版。这本书出版后深受好评，同时也收到热心读者的一些好的建议，加之 5 年来，西门子的软件和硬件不断升级，因此作者在第 1 版的基础上更新了部分软硬件，而且新增加了更多实用的工程实例，删减了部分过时的例子，形成本书的第 2 版。

在编写过程中，我们将一些生动的操作实例融入到实际中，以期提高读者的学习兴趣。本书与其他相关书籍相比，具有以下特点。

① 用实例引导读者学习。本书的内容全部用精选的例子讲解。例如，用例子说明现场总线通信的实现的全过程。

② 所有的例子都包含软硬件的配置方案图、接线图和程序，而且为确保程序的正确性，程序已经在 PLC 上运行通过。

③ 对于比较复杂的例子，与之配套的学习资源中有录像和程序源代码。如工业以太网通信的硬件组态较复杂，就配有录像和程序源代码，读者可以在出版社的网站（[www.cmpbook.com](http://www.cmpbook.com)）上下载，便于学习。

④ 本书内容实用，书中的实例容易被读者进行工程移植。

本书由向晓汉任主编，王飞飞任副主编，陆金荣高级工程师任主审。

全书共分 8 章。第 1、8 章由无锡职业技术学院的向晓汉编写；第 2 章由无锡小天鹅公司的李润海和苏高峰编写；第 3 章由无锡职业技术学院的林伟编写；第 4 章由桂林电子科技大学的向定汉编写；第 5 章由无锡雷华科技有限公司的陆彬和阳思惠编写；第 6 章由无锡雪浪环境科技股份有限公司的王飞飞编写；第 7 章由无锡雪浪环境科技股份有限公司的刘摇摇、王保银和宋昕编写。参加编写的还有唐克彬、孙腾飞、曹英强和钱晓忠。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

作 者  
2015. 8

# 目 录

## 前言

<b>第 1 章 梯形图的编程方法与调试</b> .....	1
1.1 功能图 .....	1
1.1.1 功能图的画法 .....	1
1.1.2 梯形图编程的原则 .....	6
1.2 逻辑控制的梯形图编程方法 .....	7
1.2.1 经验设计法 .....	8
1.2.2 功能图设计法 .....	8
1.3 编程小技巧 .....	20
1.3.1 电动机的控制 .....	20
1.3.2 定时器和计数器应用 .....	23
1.3.3 取代特殊功能的小程序 .....	27
1.3.4 单键起停控制（乒乓控制） .....	28
1.4 仿真软件的应用 .....	29
1.4.1 S7-200 PLC 的仿真软件的使用 .....	29
1.4.2 S7-300/400 PLC 的仿真软件的使用 .....	31
1.5 S7-300/400 PLC 调试方法 .....	34
1.5.1 用变量监控表进行调试 .....	34
1.5.2 使用交叉参考和符号表的导入/输出 .....	38
1.6 综合应用 .....	40
<b>第 2 章 PLC 在过程控制中的应用</b> .....	46
2.1 PID 控制简介 .....	46
2.1.1 PID 控制原理简介 .....	46
2.1.2 PID 控制的算法和图解 .....	47
2.1.3 PID 控制器的参数整定 .....	50
2.2 用 S7-200/300/400 PLC 进行电炉的温度控制 .....	50
2.2.1 利用 S7-200 PLC 进行电炉的温度控制 .....	50
2.2.2 利用 S7-300/400 PLC 进行电炉的温度控制 .....	60
<b>第 3 章 PLC 在运动控制中的应用</b> .....	67
3.1 PLC 的步进电动机控制 .....	67
3.1.1 直接使用 PLC 的高速输出点控制步进电动机 .....	67
3.1.2 使用定位模块控制步进电动机 .....	77
3.1.3 S7-200 PLC 控制步进电动机的调速 .....	87
3.1.4 步进电动机的正反转 .....	89

3.2	PLC 的伺服控制	91
3.2.1	直接使用 PLC 的高速输出点控制三菱伺服系统	91
3.2.2	S7-200 PLC 的高速输出点控制西门子伺服系统	94
3.2.3	使用现场总线控制伺服电系统	104
<b>第 4 章</b>	<b>PLC 的通信及其通信模块的应用</b>	<b>122</b>
4.1	通信基础知识	122
4.1.1	通信的基本概念	122
4.1.2	PLC 网络的术语解释	123
4.1.3	RS-485 标准串行接口	124
4.1.4	OSI 参考模型	125
4.1.5	SIMATIC NET 工业网络	126
4.2	现场总线概述	127
4.2.1	现场总线的概念	127
4.2.2	主流现场总线简介	127
4.2.3	现场总线的特点	128
4.2.4	现场总线的现状	129
4.2.5	现场总线的发展	129
4.3	PPI 通信	129
4.3.1	PPI 协议简介	129
4.3.2	S7-200 PLC 之间的 PPI 通信	131
4.4	自由口通信	138
4.4.1	自由口通信简介	138
4.4.2	S7-200 PLC 之间的自由口通信	140
4.4.3	智能设备与 S7-200 PLC 之间的自由口通信	146
4.5	Modbus 通信	150
4.5.1	Modbus 协议简介	150
4.5.2	S7-200 PLC 之间的 Modbus 通信	150
4.5.3	S7-1200 PLC 之间的 Modbus 通信	156
4.6	MPI 通信	160
4.6.1	MPI 通信简介	160
4.6.2	S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信	161
4.6.3	S7-300 PLC 之间的 MPI 通信	169
4.6.4	S7-300/400 PLC 与 S7-400 PLC 之间的 MPI 通信	178
4.7	PROFIBUS-DP 通信	181
4.7.1	PROFIBUS-DP 通信简介	181
4.7.2	S7-300 PLC 与 ET200M 之间的 PROFIBUS-DP 通信	184
4.7.3	S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信	189
4.7.4	S7-300 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信	198
4.8	以太网通信	207

4.8.1	以太网通信简介	207
4.8.2	S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信	209
4.8.3	S7-300 PLC 之间的以太网通信	217
4.8.4	S7-400 PLC 与远程 IO 模块 ET200 之间的 PROFINET 通信	224
<b>第 5 章</b>	<b>PLC 在变频器调速系统中的应用</b>	<b>230</b>
5.1	西门子 MM440 变频器	230
5.1.1	认识变频器	230
5.1.2	西门子 MM440 变频器使用简介	232
5.2	变频器多段速度给定	236
5.3	变频器模拟量速度给定	242
5.3.1	模拟量模块简介	242
5.3.2	模拟量速度给定 (利用 S7-200 PLC)	244
5.3.3	模拟量速度给定 (利用 S7-300 PLC)	247
5.4	变频器的通信速度给定	250
5.4.1	MM440 变频器通信的基本知识	250
5.4.2	S7-200 PLC 与 MM440 变频器的 USS 通信速度给定	253
5.4.3	S7-300 PLC 与 MM440 变频器的场总线通信速度给定	258
5.4.4	S7-300 PLC 通过 PROFIBUS 现场总线修改 MM440 变频器的参数	265
<b>第 6 章</b>	<b>西门子 S7-300/400 PLC 的故障诊断技术</b>	<b>271</b>
6.1	PLC 控制系统的故障诊断概述	271
6.1.1	引发 PLC 故障的外部因素	271
6.1.2	PLC 的故障类型和故障信息	272
6.1.3	PLC 故障诊断方法	273
6.1.4	PLC 外部故障诊断方法	274
6.2	S7-300/400 PLC 故障诊断技术	277
6.2.1	使用状态和出错 LED 进行故障诊断	277
6.2.2	用 STEP7 快速视图进行故障诊断	280
6.2.3	用通信块 (如 SFB15) 的输出参数/返回值 (RET_VAL) 诊断故障	287
6.2.4	用组织块的故障诊断	288
6.2.5	用 SFC13 进行故障诊断	296
6.2.6	各种故障诊断的比较	300
6.3	工程常见调试和故障诊断 30 例	301
<b>第 7 章</b>	<b>西门子 PLC 其他应用技术</b>	<b>311</b>
7.1	高速计数器的应用	311
7.1.1	高速计数器简介	311
7.1.2	高速计数器在转速测量中的应用	316
7.2	其他技巧/难点	318
7.2.1	安装 STEP7 注意事项	318
7.2.2	创建和使用 S7-200 PLC 的库函数	319

7.2.3 指针的应用 .....	322
7.2.4 自定义数据类型 UDT 的应用 .....	323
<b>第 8 章 西门子 PLC 工程应用案例 .....</b>	<b>326</b>
8.1 压力数据采集 PLC 控制系统 .....	326
8.1.1 系统软硬件配置 .....	326
8.1.2 编写控制程序 .....	326
8.2 物料搅拌机 PLC 控制系统 .....	331
8.2.1 系统软硬件配置 .....	332
8.2.2 编写控制程序 .....	333
8.3 定长剪切机 PLC 控制系统 .....	335
8.3.1 系统软硬件配置 .....	336
8.3.2 编写控制程序 .....	337
8.4 啤酒灌装线系统 PLC 控制系统 .....	341
8.4.1 系统软硬件配置 .....	342
8.4.2 编写控制程序 .....	344
8.5 往复运动小车 PLC 控制系统 .....	350
8.5.1 系统软硬件配置 .....	351
8.5.2 编写控制程序 .....	353
<b>参考文献 .....</b>	<b>358</b>



# 第 1 章 梯形图的编程方法与调试

本章介绍功能图的画法、梯形图的禁忌以及如何根据功能图用基本指令、功能指令、顺控制令和复位置位指令 4 种方法编写顺序控制梯形图。另一个重要的内容是程序的调试方法。

## 1.1 功能图

### 1.1.1 功能图的画法

功能图（SFC）是描述控制系统的控制过程、功能和特征的一种图解表示方法。它具有简单、直观等特点，不涉及控制功能的具体技术，是一种通用的语言，是 IEC（国际电工委员会）首选的编程语言，近年来在 PLC 的编程中已经得到了普及与推广。在 IEC848 中称顺序功能图，在我国国家标准 GB6988-2008 中称功能表图。西门子称为图形编程语言 S7-Graph 和 S7-HiGraph。

顺序功能图是设计 PLC 顺序控制程序的一种工具，适合于系统规模较大、程序关系较复杂的场合，特别适合于对顺序操作的控制。在编写复杂的顺序控制程序时，采用 S7-Graph 和 S7-HiGraph 比梯形图更加直观。

功能图的基本思想是：设计者按照生产要求，将被控设备的一个工作周期划分成若干个工作阶段（简称“步”），并明确表示每一步要执行的输出，“步”与“步”之间通过制定的条件进行转换。在程序中，只要通过正确连接进行“步”与“步”之间的转换，就可以完成被控设备的全部动作。

PLC 执行功能图程序的基本过程是：根据转换条件选择工作“步”，进行“步”的逻辑处理。组成功能图程序的基本要素是步、转换条件和有向连线，如图 1-1 所示。

#### 1. 步

一个顺序控制过程可分为若干个阶段，也称为步或状态。系统初始状态对应的步称为初始步，初始步一般用双线框表示。在每一步中施控系统要发出某些“命令”，而被控系统要完成某些“动作”，“命令”和“动作”都称为动作。当系统处于某一工作阶段时，则该步处于激活状态，称为活动步。

#### 2. 转换条件

使系统由当前步进入下一步的信号称为转换条件。顺序控制设计法用转换条件控制代表各步的编程元件，让它们的状态按一定的顺序变化，然后用代表各步的编程元件去控制输出。不同状态的“转换条件”可以不同，也可以相同。当“转换条件”各不相同，在功能图程序中每次只能选择其中一种工作状态（称为“选择分支”）；当“转换条件”都相同时，在功能图程序中每次可以选择多个工作状态（称为“选择并行分支”）。只有满足条件状态，

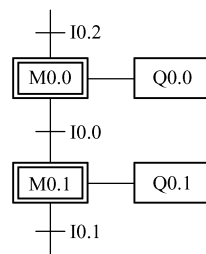


图 1-1 功能图

才能进行逻辑处理与输出。因此，“转换条件”是功能图程序选择工作状态（步）的“开关”。

### 3. 有向连线

步与步之间的连接线称为“有向连线”，“有向连线”决定了状态的转换方向与转换途径。在有向连线上有短线，表示转换条件。当条件满足时，转换得以实现，即上一步的动作结束而下一步的动作开始，因而不会出现动作重叠。步与步之间必须要有转换条件。

图 1-1 中的双框为初始步，M0.0 和 M0.1 是步名，I0.0、I0.1 为转换条件，Q0.0、Q0.1 为动作。当 M0.0 有效时，输出指令驱动 Q0.0。步与步之间的连线称为有向连线，它的箭头省略未画。

### 4. 功能图的结构分类

根据步与步之间的进展情况，功能图分为以下 4 种结构。

#### (1) 单一顺序

单一顺序动作是一个接一个地完成，完成每步只连接一个转移，每个转移只连接一个步，如图 1-3 和图 1-4 所示的功能图和梯形图是一一对应的。以下用“起保停电路”来讲解功能图和梯形图的对应关系。

为了便于将顺序功能图转换为梯形图，采用代表各步的编程元件的地址（比如 M0.2）作为步的代号，并用编程元件的地址来标注转换条件和各步的动作和命令，当某步对应的编程元件置 1，代表该步处于活动状态。

① 起保停电路对应的布尔代数式。标准的起保停梯形图如图 1-2 所示，图中 I0.0 为 M0.2 的起动条件，当 I0.0 置 1，M0.2 得电；I0.1 为 M0.2 的停止条件，当 I0.1 置 1，M0.2 断电；M0.2 的辅助触头为 M0.2 的保持条件。该梯形图对应的布尔代数式为

$$M0.2 = (I0.0 + M0.2) \cdot \overline{I0.1}$$

② 顺序控制梯形图储存位对应的布尔代数式。如图 1-3a 所示的功能图，M0.1 转换为活动步的条件是 M0.1 步的前一步是活动步，相应的转换条件（I0.0）得到满足，即 M0.1 的起动条件为  $M0.0 * I0.0$ 。当 M0.2 转换为活动步后，M0.1 转换为不活动步，因此，M0.2 可以看成 M0.1 的停止条件。由于大部分转换条件都是瞬时信号，即信号持续的时间比它激活的后续步的时间短，因此应当使用有记忆功能的电路控制代表步的储存位。在此情况下，起动条件、停止条件和保持条件全部都有，就可以用起保停方法来设计顺序功能图的布尔代数式和梯形图。顺序控制功能图中储存位对应的布尔代数式如图 1-3b 所示，参照图 1-2 所示的标准“起保停”梯形图，就可以轻松地将图 1-3 所示的顺序功能图转换为如图 1-4 所示的梯形图。

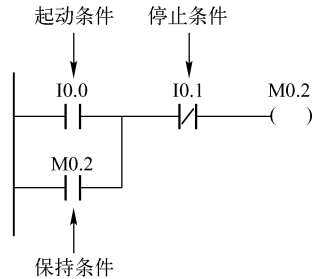


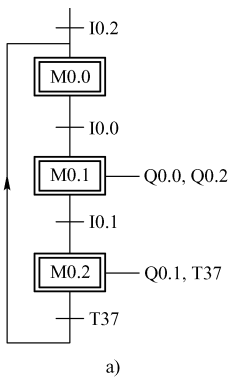
图 1-2 标准的“起保停”梯形图

#### (2) 选择顺序

选择顺序是指某一步后有若干个单一顺序等待选择，称为分支，一般只允许选择进入一个顺序，转换条件只能标在水平线之下。选择顺序的结束称为合并，用一条水平线表示，水平线以下不允许有转换条件，如图 1-5 所示。

#### (3) 并行顺序

并行顺序是指在某一转换条件下同时起动若干个顺序，也就是说转换条件实现导致几个分支同时激活。并行顺序的开始和结束都用双水平线表示，如图 1-6 所示。



$$M0.0 = (I0.2 + M0.2 \cdot T37 + M0.0) \cdot \overline{M0.1}$$

$$M0.1 = (M0.0 \cdot I0.0 + M0.1) \cdot \overline{M0.2}$$

$$M0.2 = (M0.1 \cdot I0.1 + M0.2) \cdot \overline{M0.0}$$

停止条件  
 ↓  
 $\overline{M0.2}$   
 ↑      ↑  
 起动条件    保持条件

图 1-3 顺序功能图和对应的布尔代数式  
a) 功能图 b) 布尔代数式

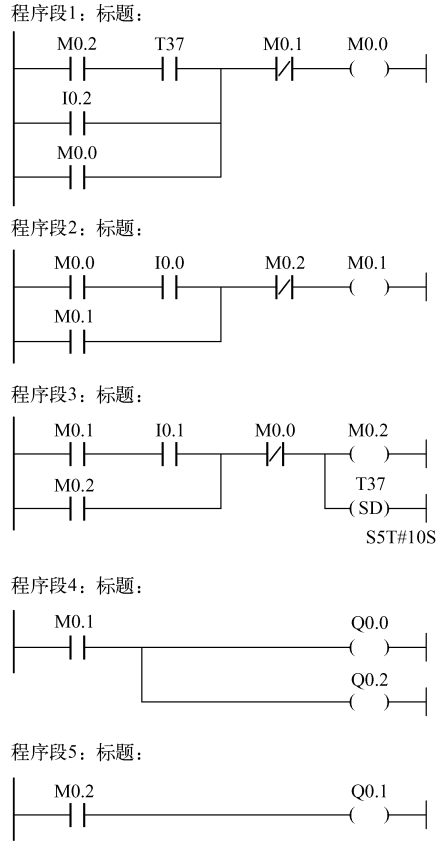


图 1-4 梯形图

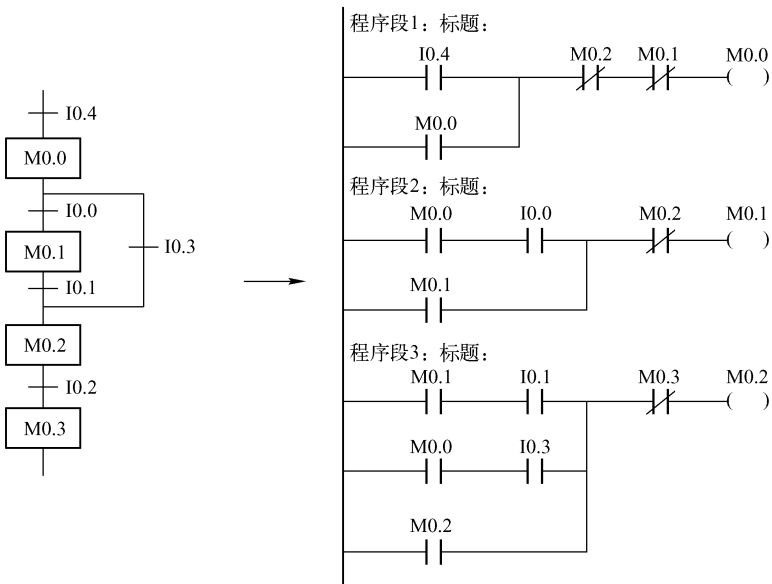


图 1-5 选择顺序

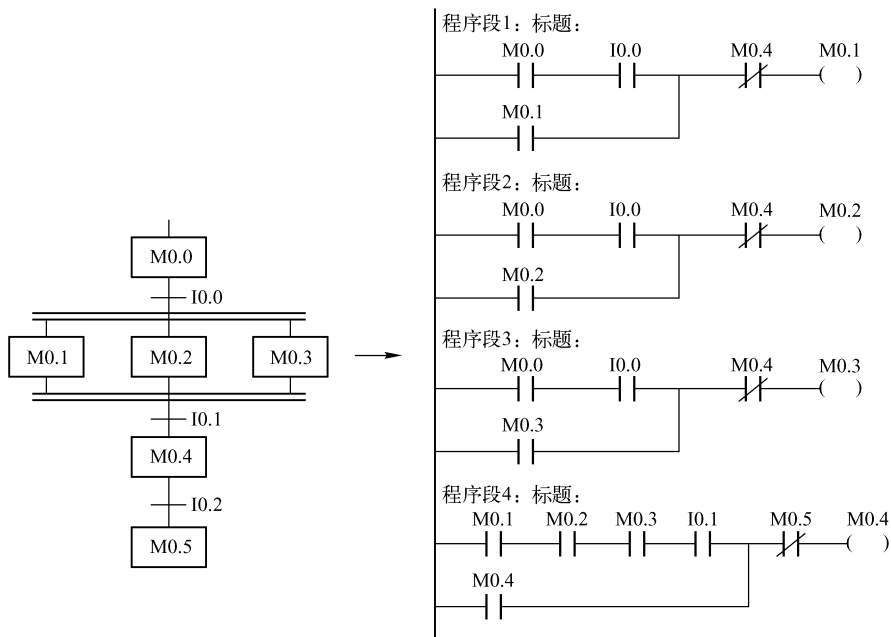


图 1-6 并行顺序

#### (4) 选择序列和并行序列的综合

如图 1-7 所示，步 M0.0 之后有一个选择序列的分支，设 M0.0 为活动步，当它的后续步 M0.1 或 M0.2 变为活动步时，M0.0 变为不活动步，即 M0.0 为 0 状态，所以应将 M0.1 和 M0.2 的常闭触头与 M0.0 的线圈串联。

步 M0.2 之前有一个选择序列合并，当步 M0.1 为活动步（即 M0.1 为 1 状态），并且转换条件 IO.1 满足，或者步 M0.0 为活动步，并且转换条件 IO.2 满足，步 M0.2 变为活动步，所以该步的存储器 M0.2 的起保停电路的起动条件为  $M0.1 \cdot IO.1 + M0.0 \cdot IO.2$ ，对应的起动电路由两条并联支路组成。

步 M0.2 之后有一个并行序列分支，当步 M0.2 是活动步并且转换条件 IO.3 满足时，步 M0.3 和步 M0.5 同时变成活动步，这时用 M0.2 和 IO.3 常开触头组成的串联电路，分别作为 M0.3 和 M0.5 的起动电路来实现，与此同时，步 M0.2 变为不活动步。

步 M0.0 之前有一个并行序列的合并，该转换实现的条件是所有的前级步（即 M0.4 和 M0.6）都是活动步和转换条件 IO.6 满足。由此可知，应将 M0.4、M0.6 和 IO.6 的常开触头串联，作为控制 M0.0 的起保停电路的启动电路。图 1-7 所示的功能图所对应的梯形图如图 1-8 所示。

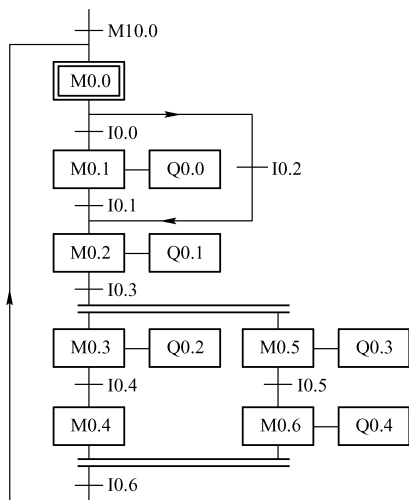


图 1-7 选择序列和并行序列功能图

### 5. 功能图设计的注意点

1) 状态之间要有转换条件。如图 1-9 所示，状态之间缺少“转换条件”是不正确的，应改成如图 1-10 所示的功能图。必要时转换条件可以简化，如将图 1-11 简化成图 1-12。

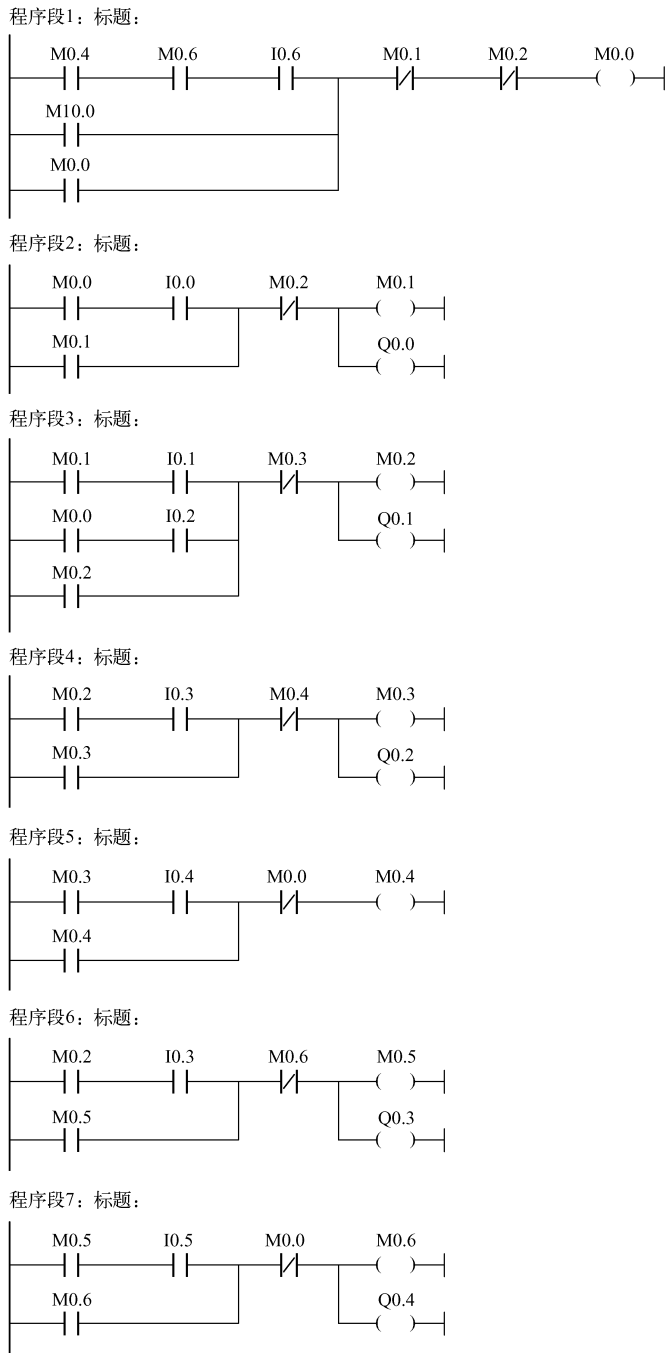


图 1-8 梯形图

2) 转换条件之间不能有分支。例如, 图 1-13 应该改成如图 1-14 所示的合并后的功能图, 合并转换条件。

3) 顺序功能图中的初始步对应于系统等待启动的初始状态, 初始步是必不可少的。

4) 顺序功能图中一般应有由步和有向连线组成的闭环。

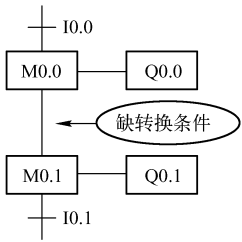


图 1-9 错误的功能图

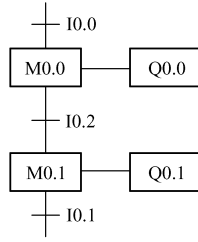


图 1-10 正确的功能图

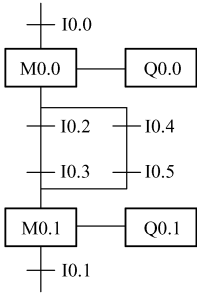


图 1-11 简化前的功能图

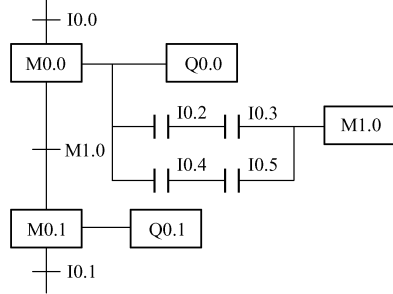


图 1-12 简化后的功能图

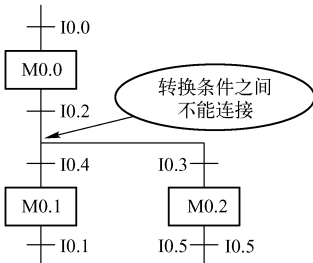


图 1-13 错误的功能图

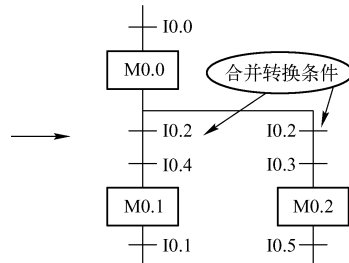


图 1-14 合并后的功能图

### 1.1.2 梯形图编程的原则

尽管梯形图与继电器电路图在结构形式、元件符号及逻辑控制功能等方面相类似，但它们又有许多不同之处，梯形图的编程规则有如下几点。

1) 每一逻辑行总是起于左母线，最后终止于线圈或右母线（右母线可以不画出），如图 1-15 所示。



图 1-15 梯形图

a) 错误 b) 正确

2) 无论选用哪种机型的 PLC，所用元件的编号必须在该机型的有效范围内。例如，S7-300 PLC 中没有 M99000.0。

3) 梯形图中的触点可以任意串联或并联，但线圈只能并联而不能串联。

4) 触点的使用次数不受限制。例如，辅助继电器 M0.0 可以在梯形图中出现无限制的

次数，而实物继电器的触点一般少于 8 对，只能用有限次。

5) 在梯形图中同一线圈只能出现一次。如果在程序中，同一线圈使用了两次或多次，称为“双线圈输出”。对于“双线圈输出”，有些 PLC 将其视为语法错误，绝对不允许（如三菱 FX 系列 PLC）；有些 PLC 则将前面的输出视为无效，只有最后一次输出有效（如西门子 PLC）；而有些 PLC 在含有跳转指令或步进指令的梯形图中允许双线圈输出。

6) 西门子 PLC 的梯形图中不能出现 I 线圈。

7) 对于不可编程的梯形图必须经过等效变换，变成可编程梯形图，如图 1-16 所示。

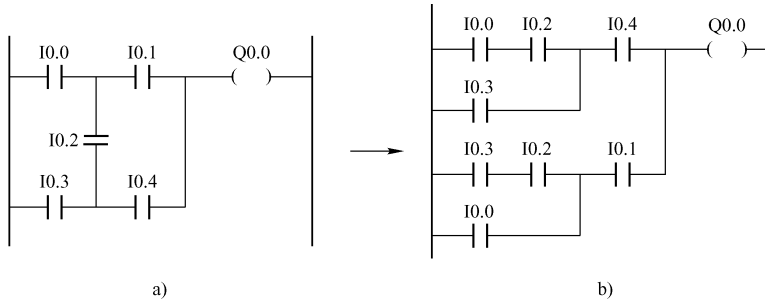


图 1-16 梯形图

a) 错误 b) 正确

8) 在有几个串联电路相并联时，应将串联触点多的回路放在上方，归纳为“多上少下”的原则，如图 1-17b 所示。在有几个并联电路相串联时，应将并联触点多的回路放在左方，归纳为“多左少右”原则，如图 1-18b 所示。因为这样所编制的程序简洁明了，语句较少。但要注意图 1-17a 和图 1-18a 的梯形图逻辑上是正确的。

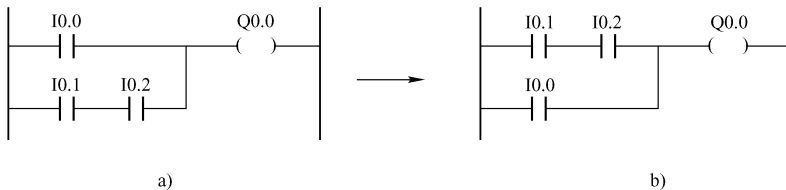


图 1-17 梯形图

a) 不合理 b) 合理

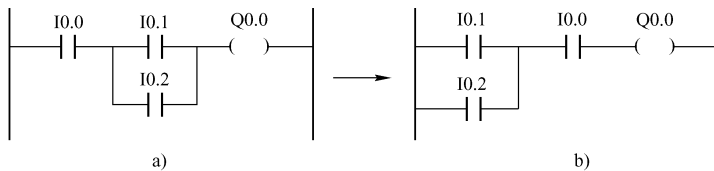


图 1-18 梯形图

a) 不合理 b) 合理

## 1.2 逻辑控制的梯形图编程方法

相同的硬件系统，由不同的人设计，可能设计出不同的程序，有的人设计的程序简洁而且可靠，而有的人设计的程序虽然能完成任务，但较复杂。PLC 程序设计是有规律可循的，

下面介绍两种方法：经验设计法和功能图设计法。

### 1.2.1 经验设计法

经验设计法就是在一些典型梯形图的基础上，根据具体的对象对控制系统的具体要求，对原有的梯形图进行修改和完善。这种方法适合有一定工作经验的人，这些人有现成的资料，特别在产品更新换代时，使用这种方法比较节省时间。下面举例说明这种方法的思路。

【例 1-1】图 1-19 所示为小车运输系统的示意图和 I/O 接线图，SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4 是限位开关，小车先左行，在 SQ1 处装料，10s 后右行，到 SQ2 后停止卸料 10s 后左行，碰到 SQ1 后停下装料，如此不停循环工作，限位开关 SQ3 和 SQ4 的作用是当 SQ2 或者 SQ1 失效时，SQ3 和 SQ4 起保护作用，SB1 和 SB2 是起动按钮，SB3 是停止按钮。

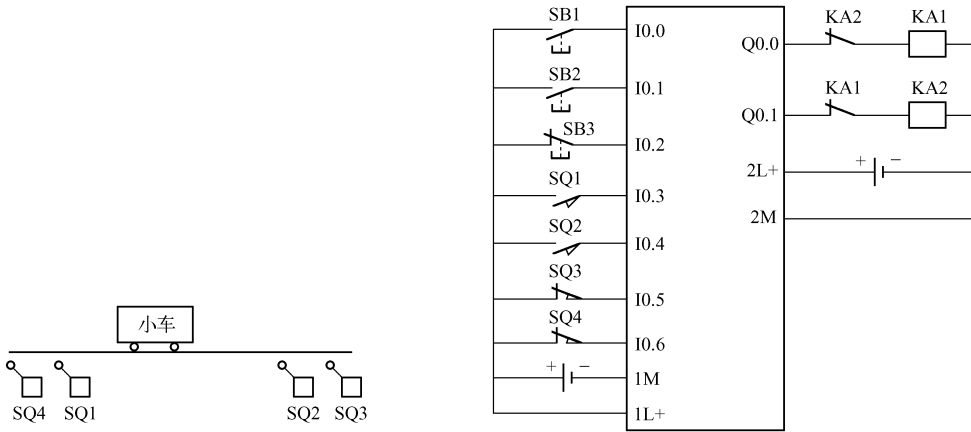


图 1-19 小车运输系统的示意图和 I/O 接线图

#### 【解】

小车主行和右行是不能同时进行的，因此有联锁关系，与电动机的正、反转的梯形图类似，因此先画出电动机正、反转控制的梯形图，如图 1-20 所示，再在此梯形图的基础上进行修改，增加 4 个限位开关的输入，增加两个定时器，就变成了图 1-21 所示的梯形图。

### 1.2.2 功能图设计法

也称为“起保停”设计法。对于比较复杂的逻辑控制，用经验设计法不合适，适合用功能图设计法。功能图设计法无疑是应用最为广泛的设计方法。功能图即顺序功能图，功能图设计法是先根据系统的控制要求画出功能图，再根据功能图画梯形图，梯形图可以是基本指令梯形图，也可以是顺控指令梯形图和功能指令梯形图。因此，设计功能图是整个设计过程的关键，也是难点。

#### 1. 起保停设计方法的基本步骤

1) 绘制顺序功能图。使用“起保停”设计方法设计梯形图时，要根据控制要求先绘制出顺序功能图，顺序功能图的绘制方法在前面章节中已经详细讲解，在此不再重复。

2) 写出储存器位的布尔代数式。对应于顺序功能图中的每一个储存器位都可以写出如图 1-22 所示的布尔代数式。图中等号左边的  $M_i$  为第  $i$  个储存器位的状态，等号左边的  $M_i$  为第  $i$  个储存器位的常开触头， $X_i$  为第  $i$  个工步所对应的转换信号， $M_{i-1}$  为第  $i-1$  个储存器位