

高等学校教材

# 铸造自动化

(修订本)

哈尔滨工业大学 任天庆 编

GAO DENG XUE  
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

本书内容包括铸造过程自动程序控制、自动检测及自动调节等三个方面,涉及到了铸造自动化技术的各个领域。书中除对上述三个方面采用的自动化装置原理进行系统介绍外,还重点阐述了铸造设备自动程序控制电路设计方法(程控图表逻辑线路设计法)、铸造车间常见的参量变换元件、自动调节基本原理及调节器。还列举了实际采用的铸造自动化装置及自动化系统。为了加深理解,还在每章后面附有习题及思考题。

本书除用作高等学校铸造专业教材外,还可供铸造工程技术人员阅读,也可供有关专业师生参考。

## 铸 造 自 动 化

(修订本)

哈尔滨工业大学 任天庆 编

\*

责任编辑:王海峰 董连仁 版式设计:张世琴  
封面设计:田淑文 责任校对:李广孚

\*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

\*

开本  $787 \times 1092 \frac{1}{16}$  · 印张  $11\frac{1}{4}$  · 字数 271 千字

1983年6月北京第一版

1989年6月北京第二版·1989年6月北京第五次印刷

印数 12,051—14,850 · 定价:2.30 元

\*

ISBN 7-111-00760-3/TG·179 (课)

## 前 言

本书是在 1983 年出版的高等学校试用教材《铸造生产自动化》基础上, 根据 1983 年 11 月全国高等学校铸造专业教材分编审委员会审订通过的“铸造自动化”教学大纲修订编写的。全书共分三篇八章, 其中第七章“微型计算机控制”为可加选内容。

在第一篇中为了突出重点和精简内容, 重点介绍了程控图表逻辑线路设计方法, 尤其是加强了对一些基本概念, 如信号间的干扰作用、对偶线的确定以及设置中间继电器的原则等的阐述。顺控器以介绍其工作原理为主, 为了使内容系统化和接近实际, 本书以 SK<sub>2</sub>-9A 型顺控器为实例, 并结合其功能电路进行阐述。

第二篇中系统地介绍了各种基本的参量变换元件及用于测量铸造车间生产工艺参数的装置。

第三篇中重点介绍了自动调节基本原理及微计算机控制技术。因为在现代化铸造车间中, 不仅广泛采用了各种常规仪表式调节器, 而且广泛采用微型计算机控制技术。在第五章自动调节原理基础中, 重点是要求学会分析系统的稳定性, 为此而介绍了对调节系统的基本要求以及传递函数的计算方法、对数频率特性的求法等。教学实践表明, 在讲授幅值裕度和相角裕度这两个较难理解的概念时, 从临界稳定的概念出发阐述, 学生是易于接受的。在校正装置一章中, 重点介绍几种基本调节规律, 同时增加了Ⅲ型电动调节器的内容, 因为它常与微机控制配合使用。在微型计算机控制一章中, 重点介绍控制原理、通道、控制方法, 并引入了控制实例。在铸造生产过程的控制与调节一章中, 介绍了新型的低压与差压铸造过程控制系统。

为了使学生加深对课程内容的理解, 在每章后均附有习题及思考题。

书中有关计量单位均采用了法定计量单位。需要说明的是, 为了简化换算, 有关压强(压力)的法定计量单位换算式应为  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 9.806 \times 10^4 \text{ Pa}$ , 书中采用了近似计算, 即  $1 \text{ kgf/cm}^2 = 10^5 \text{ Pa}$ , 如  $5 \text{ kgf/cm}^2 = 5 \times 10^5 \text{ Pa} = 500 \text{ kPa}$ 。

本书由哈尔滨工业大学任天庆同志编写, 由太原重型机械学院贝彦良同志审定。

由于我们水平有限, 在书中难免有许多错误和不足之处, 希望广大读者给予批评指正。

# 目 录

|                          |    |                         |     |
|--------------------------|----|-------------------------|-----|
| 绪论 .....                 | 1  | § 4-4 温度与炉气化学成分检测 ..... | 75  |
| 第一篇 自动程序控制 .....         | 3  | § 4-5 型砂性能快速检测 .....    | 81  |
| 第一章 继电器接点程序控制 .....      | 3  | 习题及思考题 .....            | 88  |
| § 1-1 程序控制图表逻辑线路         |    | 第三篇 自动调节 .....          | 89  |
| 设计方法 .....               | 3  | 第五章 自动调节原理基础 .....      | 89  |
| § 1-2 继电器接点程控电路的转换 ..... | 18 | § 5-1 自动调节原理的基本概念 ..... | 89  |
| § 1-3 逻辑代数逻辑线路设计法 .....  | 21 | § 5-2 传递函数 .....        | 95  |
| § 1-4 程控电路的分组供电设计法 ..... | 29 | § 5-3 自调系统的稳定性分析 .....  | 105 |
| 习题 .....                 | 33 | 习题 .....                | 113 |
| 第二章 步进式顺序控制器 .....       | 34 | 第六章 自调系统的校正装置及执         |     |
| § 2-1 步进式顺控器工作原理、组成及     |    | 行器 .....                | 115 |
| 基本功能 .....               | 34 | § 6-1 校正装置 .....        | 115 |
| § 2-2 步进式顺控器实例、编程及应      |    | § 6-2 调节器与执行器 .....     | 120 |
| 用 .....                  | 39 | 思考题 .....               | 140 |
| 习题及思考题 .....             | 45 | 第七章 微型计算机控制 .....       | 141 |
| 第二篇 自动检测 .....           | 47 | § 7-1 微型计算机控制原理及输入输出    |     |
| 第三章 基本的参量变换元件 .....      | 47 | 通道 .....                | 141 |
| § 3-1 电阻式变换器 .....       | 47 | § 7-2 控制系统分类、控制方式及      |     |
| § 3-2 感应式变换器 .....       | 51 | 实例 .....                | 146 |
| § 3-3 电容式变换器 .....       | 52 | 习题及思考题 .....            | 156 |
| § 3-4 光电变换器 .....        | 54 | 第八章 铸造生产过程的控制           |     |
| § 3-5 热电变换器 .....        | 56 | 与调节 .....               | 157 |
| § 3-6 核辐射式变换器 .....      | 58 | § 8-1 砂处理工部生产过程的自动调节    |     |
| § 3-7 变换器的电桥测量电路及电位差     |    | 系统 .....                | 157 |
| 计式电路 .....               | 60 | § 8-2 熔化工部生产过程的自动       |     |
| 思考题 .....                | 62 | 调节系统 .....              | 164 |
| 第四章 铸造车间生产工艺参数测          |    | § 8-3 低压及差压铸造过程液面加压控    |     |
| 量 .....                  | 63 | 制系统 .....               | 170 |
| § 4-1 液压与气压检测 .....      | 63 | 习题及思考题 .....            | 174 |
| § 4-2 重量与流量检测 .....      | 68 | 参考文献 .....              | 174 |
| § 4-3 料位检测 .....         | 72 |                         |     |

## 绪 论

铸造生产的特点是劳动强度高、环境温度高和粉尘量高，而铸件质量低。实现铸造生产过程的机械化与自动化是铸造生产摆脱“三高一低”落后局面的一条重要出路。目前，铸造生产自动化的程度已达到一定的水平，而且随科学技术与生产的不断发展，其自动化的程度还在不断提高，铸造自动化技术也在不断发展。

铸造生产过程自动化包括三个方面：生产过程工艺参数的自动测量、生产过程的自动控制以及生产过程的自动调节。

为了对生产过程进行监督和对铸件质量提供分析数据，在铸造生产过程中采用了大量工艺参数测试仪表。现代化测试仪表不仅能给出检测值，而且可以自动进行数据的数理统计分析，数据预报等，它还是实现生产过程自动调节的必不可少的环节。

在铸造生产中，随着铸件批量和产量的扩大，由很多单机组成的铸造生产线得到了迅速发展，我国投入生产的铸造生产线也以上百条计。生产实践表明，为了使生产线正常运行，除机械设备要保证加工精度外，控制系统正常运行也是重要的条件。这就要求控制元件性能稳定可靠，控制线路设计合理。因此，铸造工程技术人员，尤其是在机械化自动化程度高的铸造车间工作的技术人员要具备控制线路设计的能力，这不仅在维护生产正常运行时是必需的，而且在进行车间技术改造或设计、购置新设备时也是需要的。本书单设一章介绍程序控制电路设计方法就是根据这一需要而安排的。

在现代化的铸造车间中，为了保证和稳定铸件质量，广泛采用了自动调节技术，如混砂过程、熔化过程等。随着微型计算机的推广应用，铸造车间也开始采用微型计算机控制技术。我国在铸造生产的微型计算机控制方面虽然还只是刚刚起步，但已经显示出这种先进技术的生命力。

我国铸造生产过程的自动化水平虽然有了一定基础，但与技术先进的国家相比还是相当落后的，远不能满足国民经济发展的需要。可以预见，随着科学技术和国民经济的迅速发展，铸造生产的落后面貌将会发生根本性的改变，而生产过程的自动化水平将会随之提到一个新的高度。

编者 1987.2



# 第一篇 自动程序控制

自动程序控制，即生产设备按预先设计好的顺序依次自动动作，在铸造生产中已获得广泛应用，它显著改善了铸造工人的劳动条件并且大大提高了生产率。从控制系统采用的能源来看，目前有电控、气控、液控等，而应用最多的是电控。这主要是因为电控具有一系列优点：电路系统简单；控制速度快；容易实现自动化；适于远距离控制；能源方便等。

电控在工业中的应用经历了不同阶段：继电器接点控制→无触点逻辑控制→顺序控制器控制→计算机控制。本篇着重介绍继电器接点控制，微型计算机控制将在第三篇第七章中介绍。

## 第一章 继电器接点程序控制

继电器接点程序控制系统在生产实践中被广泛应用。所谓接点程控系统，就是由开关元件组成的断续作用的程序控制系统。这是因为开关元件具有“接通”和“断开”两种截然不同的状态，不能反映控制信号的变化，因此它所实现的控制必然是断续的。具有“接通”和“断开”两种状态的元件可以采用继电器、接触器，也可以采用晶体管以及数字集成电路等。

在铸造生产所用设备中，要求按断续方式控制的设备很多，如造型机、混砂机等。造型机上完成的工艺过程一般是：工作台上升、加砂、紧实、起模、工作台下降等；混砂机上完成的工艺过程常为：加砂、干混、加水、湿混、卸料等。这些设备的工作特点是，在现场开关信号的作用下，起动某机构动作，起动后的这一机构在执行任务中发出另一现场开关信号，继而起动另一机构动作，如此按步进行下去，直至全部工艺过程结束。这种由开关元件控制的按步控制方式，一般称为程序控制。程序之间由行程控制的称为行程程序控制，而由时间控制的称为时间程序控制。除了由行程、时间控制的程序外，还有由温度、压力、液位等等各种工艺参数控制的程序。在实际生产中应用最多的是由行程和时间控制的程序。

继电器-接触器控制线路是目前工业生产中最基本的控制形式之一。由继电器、接触器等构成的程控线路的优点是：结构简单、造价低、抗干扰能力强、调整维护容易等。采用这种控制线路不仅可以实现生产过程自动化，而且还可以实现集中控制和远距离控制。但这种控制线路也存在下列缺点：由于采用有触点的开关，故允许的工作频率低，另外当触点打开时经常产生电弧，使触点容易损坏，造成开关动作不可靠。

### § 1-1 程序控制图表逻辑线路设计方法

在设计程序控制电路时，首先要了解生产机械的结构、要完成的工艺程序、工作环境和操作人员的要求，其次要了解生产工艺对控制电路的要求。进行具体线路设计时，一般先设

计主电路, 然后设计辅助电路, 包括点动及步动控制电路、讯号电路、局部照明电路等。初步设计完成后, 应仔细检查核对线路是否符合设计要求, 并进一步使其完善和简化。最后选择所用电器的型号与规格。

电器控制电路的设计方法有两种。一种方法是经验设计法, 它是根据生产工艺的要求, 直接进行设计的。用这种方法设计较复杂的电路时, 设计人员必须具有丰富的工作经验, 要多次绘制并修改才能得到符合要求的线路, 而且所得到的设计方案并不一定是最优方案。另一种方法是分析设计法, 它是利用信号间的逻辑关系进行设计的, 按此方法设计的电路比较合理, 能充分发挥元件的作用, 并可节省元件。

目前, 逻辑线路设计法 (即分析设计法) 主要有两种: 1) 用程序控制图表求逻辑表达式的设计方法, 以下简称为程序控制图表逻辑线路设计法; 2) 用真值表、卡诺图及逻辑代数进行设计的方法。

程序控制图表逻辑线路设计法比较简单, 容易掌握, 而且能满足一般中等复杂程控电路设计的要求。本书重点介绍这种设计方法。

### 一、带行程程序的程控电路设计

#### 1. 工艺流程图及程序式

在设计控制电路之前, 应首先画出该生产机械的工艺流程图。现以铸造车间经常采用的多缸带行程程序动作的装置为例绘制其工艺流程图。

铸造车间所用的多缸程序动作装置上多采用气缸 (有时也用液压缸), 气缸往复动作换向是由电磁气阀完成的。为了控制方便, 多采用双电控电磁气阀, 即电磁气阀两侧各带一个电磁铁 DT, 每一个电磁铁由单独的电信号进行控制。这种双电控电磁气阀的控制特点是具有记忆功能, 即一侧的电磁铁受电信号的控制使电磁气阀换向, 如果电信号解除, 则换向阀保持原位, 只有当另一侧电磁铁接受电信号后, 换向阀才换向。

图 1-1 中表示出两个气缸 A 及 B、起动按钮 QA、行程开关 1XK~4XK、电磁气阀 QF1、

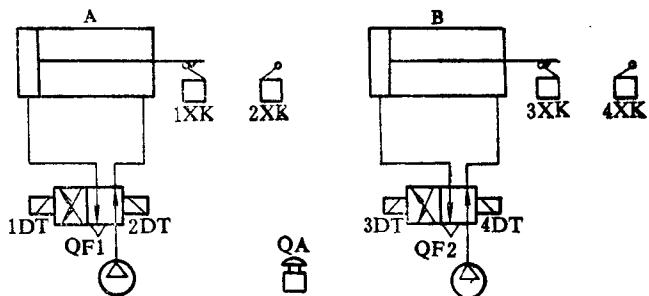


图1-1 工艺装置及电器元件图

QF2 及其电磁铁线圈 1DT~4DT。设要求此装置完成如下动作: 按下起动按钮 QA 时, 1DT 通电, 气阀 QF1 换向, 气缸 A 前移 (以  $A_1$  表示); 当气缸前移至终点时, 撞块压下行程开关 2XK, 则气缸 A 停止, 同时电磁铁线圈 3DT 通电, 气阀 QF2 换向, 气缸 B 前移 ( $B_1$ ); 气缸 B 前移至终点撞合行程开关 4XK, 这时 2DT 通电, 气阀 QF1 换向, 气缸 A 返回原位 (以  $A_0$  表示)。气缸 A 退至原位时撞块压下行程开关 1XK, 使 4DT 通电, 气阀 QF2 换向, 气缸 B 返回原位 ( $B_0$ )。气缸 B 后退至原位时撞块压下行程开关 3XK, 并停在原位。再次按下起动按钮时, 上述动作重复进行。行程开关 3XK 在这里起联锁信号作用, 只有它被压下, 下一循环才能进行。若系统发生故障, 在前一动作循环中最后一个动作, 即气缸 B 后退动作没能完成, 则再次按下起动按钮 QA 时, 下一循环将不能开始。

按上述动作要求可以画出此装置的工艺流程图, 如图 1-2 所示。

利用工艺流程图可以明显地看出此装置完成的工艺顺序以及工序间相互联结的开关信号，还可以了解其自动化程度（单循环还是自动循环）。

在进行控制电路设计时，为叙述方便还经常把工艺流程用文字符号表示，如上述工艺流程可用  $A_1B_1A_0B_0$  表示。

## 2. 检验干扰及设计程序控制图表

按照工艺流程图（图1-2），把各行程开关与相应的电磁铁线圈联线即构成控制电路图，如图1-3所示。这种联线设计称为直接联线设计。在下面我们将会看到，只有当系统中不存在干扰信号时，才能用直接联线法设计电路；若存在干扰信号，则不能采用这种简便方法。

电路图拟好后须检查各电磁铁线圈之间有无动作干扰发生，即在换向阀一侧电磁铁线圈有信号输入的同时，其另一侧线圈是否也有控制信号输入；如果另一侧同时也有信号输入，就称此换向阀两侧存在干扰，必须消除干扰后，此电路才能正常工作。

以图1-3为例，检查换向阀 QF1 及 QF2 是否有干扰信号存在，其检查过程如下：按下起动按钮 QA 后，电磁铁线圈 1DT 通电，换向阀 QF1（图1-1）换向。此时要检查换向阀 QF1 的另一侧是否有信号输入。由图可见，QF1 的另一侧电磁铁线圈 2DT 受行程开关 4XK 控制，而 4XK 只有在 B 缸前移至终点才能压合接通，故 QF1 另一侧这时没有信号输入，即 QF1 这时不存在干扰，可以顺利换向。气缸 A 前移至终点碰通 2XK，使 3DT 通电。这时阀 QF2 另一侧的 4DT 无电信号输入，这是因为 4DT 受 1XK 控制，而 1XK 由于气缸 A 已前进没被压合。故气缸 B 顺利前移。气缸 B 前移到终点碰通 4XK，并使 2DT 通电。但此时 1DT 已不带电，因 1DT 受 QA 控制，QA 是瞬时按合的，故气缸 A 顺利后退。气缸 A 后退至终点碰通 1XK，使 4DT 通电。但此时 3DT 已不带电，因 3DT 受 2XK 控制，2XK 已在气缸退回后被释放，故气缸 B 顺利后退。气缸 B 后退至终点碰通 3XK 并停止。从上述检验干扰信号的结果可以看出，上述电路中不存在干扰信号，换向阀接受换向信号后均可顺利换向。

现再以程序式为  $A_1B_1B_0A_0$  的双缸程序动作装置为例，分析电路中是否存在干扰信号。

首先绘出上述程序动作装置的工艺流程图（图1-4）。

按工艺流程图并采用直接联线设计，可得到图1-5所示的控制电路。

根据图1-5、检查换向阀 QF1 及 QF2 是否有干扰信号存在。按下起动按钮 QA 后，电磁

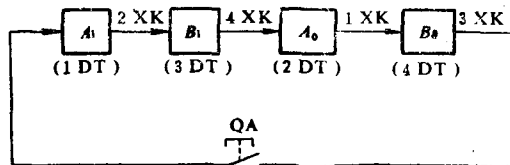


图1-2 工艺流程图 ( $A_1B_1A_0B_0$ )

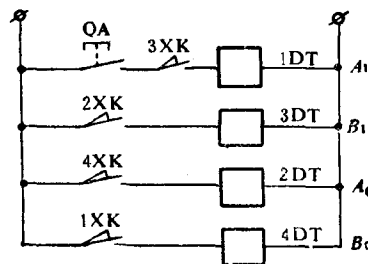


图1-3  $A_1B_1A_0B_0$ 控制电路

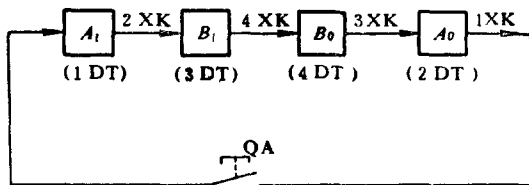


图1-4 工艺流程图 ( $A_1B_1B_0A_0$ )

铁线圈 1DT 通电, 换向阀 QF1 换向。但此时 QF1 另一侧也有信号输入, 即 2DT 这时通电, 因为气缸 B 在原位时压合行程开关 3XK。因此 3XK 为干扰信号, 而 QA 为被干扰信号。为了检验后面的动作, 假设气缸 A 能顺利前移并前移至终点碰通 2XK, 使 3DT 通电。这时阀 QF2 另一侧的 4DT 无电信号输入, 因 4DT 受 4XK 控制, 而 4XK 这时没被压合。故气缸 B 能顺利前移。气缸 B 前移到终点碰通 4XK, 并使 4DT 通电。但此时 3DT 仍带电, 因 2XK 仍被气缸压合。故 2XK 也是一个干扰信号, 而 4XK 为被干扰信号。为检验后面的动作, 假设气缸 A 在 2DT 作用下能顺利返回, 则在返回到原始位置时碰通 1XK, 由于 QA 没有按合, 故下一个运动循环不能开始。由此可见, 本例中如果采用直接连线法设计控制电路时, 在两个换向阀控制两端均产生干扰信号。故上述电路不能保证装置正常工作。为使控制电路能完成预定的控制任务, 必须消除干扰信号。

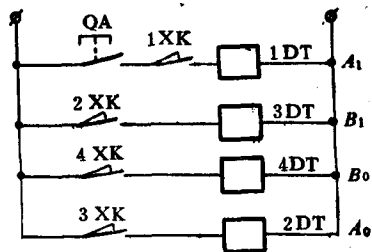


图1-5  $A_1B_1B_0A_0$  控制电路  
(直接联线法)

由上述检验干扰的过程可见, 同样是两个气缸, 也同样是四个动作程序, 只是由于它们组成的程序式不同, 从而使得其中一个程序式, 即  $A_1B_1A_0B_0$  程序并不产生干扰信号, 而另一个程序式  $A_1B_1B_0A_0$  程序就产生了干扰信号。因此, 程序式中各动作程序的排列决定着系统是否有干扰信号产生。

因此, 设计电路图的主要任务是如何消除电路图中可能出现的干扰信号。为了消除干扰, 一般可在电路中采用中间继电器, 靠中间继电器信号与相应的行程开关信号间的逻辑组合来消除干扰信号。

该设计方法是利用程序控制图表寻找对偶线, 并用中间继电器信号与相应行程开关信号进行逻辑组合以消除对偶线进行电路设计的。在介绍程控图表及对偶线概念以前, 先阐述信号间的逻辑组合形式及其表示方法。

信号间的逻辑组合形式很多, 但基本的逻辑组合形式共有三种:

(1) 逻辑“与” 图 1-6 示出由开关 A、B 串联组成的控制灯泡 D 的电路, 还列出了对应的真值表及程序线图。

图 1-6c 中竖线称为界限线, 它是程序式中各工艺程序的分界线, 分界线间的空位称为相位, 它不表示各工艺程序延续的时间长短, 只代表生产机械动作的过渡状态。各界限线间的连线称为程序线, 它表示有关信号占据的相位数。如图中信号 A 占据两个相位, 信号 B 也占

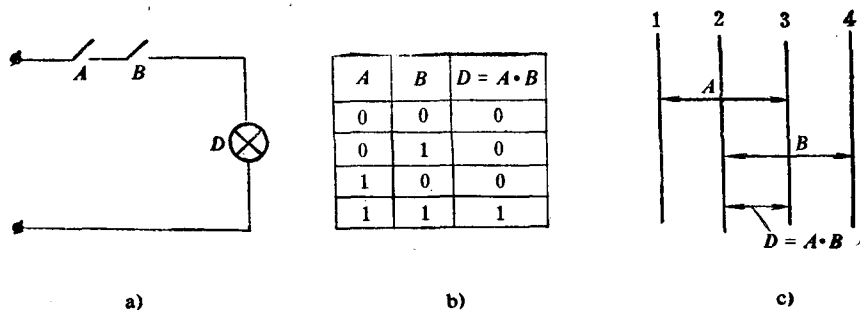


图1-6 逻辑“与”组合电路

a) 电路原理图 b) 真值表 c) 程序线图

据两个相位，但占据的相位位置不同。

信号间的逻辑组合形式，可用真值表的形式表达出来，也可用程序控制图表中的程序线表达出来；后者用于程控图表逻辑线路设计法中。

从图 1-6 可以看到，只要开关  $A$  和  $B$  中有一个处于断开（0）状态，则灯  $D$  必为熄灭（0）状态；只有开关  $A$  与  $B$  同时处于闭合（1）状态，灯  $D$  才处于点亮（1）状态。

在逻辑代数中，称符合上述取值规律的逻辑函数  $D$  为逻辑变量  $A$  与  $B$  的“与”函数，并记为：

$$D = A \cdot B$$

“与”函数用程序线表示时，以两信号的程序线公有段表示，本例中即以界限线 2 与 3 间的程序线表示。

在设计逻辑电路时经常用到逻辑“与”函数，通过两个长信号进行逻辑“与”组合后可构成一较短信号，以此可把干扰信号变为正常信号。如图 1-6 c 中，两个长信号  $A$  与  $B$  进行逻辑“与”组合后得到较短的输出信号  $D = A \cdot B$ 。

（2）逻辑“或”图 1-7 示出由开关  $A$  与  $B$  并联组成的控制灯泡  $D$  的电路，还列出了对应的真值表及程序线图。

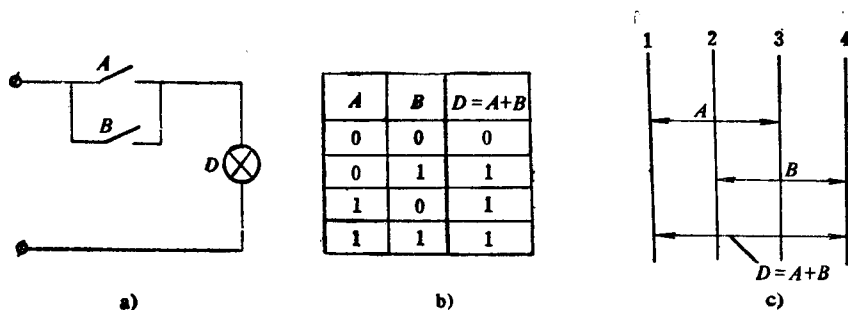


图 1-7 逻辑“或”组合电路

a) 电路原理图 b) 真值表 c) 程序线图

从图中可以看出，只要开关  $A$  和  $B$  中有任一个处于闭合（1）状态，则灯  $D$  必为点亮（1）状态；只有开关都处于断开（0）状态，灯  $D$  才为熄灭（0）状态。

在逻辑代数中称符合上述取值规律的逻辑函数  $D$  为逻辑变量  $A$  与  $B$  的“或”函数，并记为：

$$D = A + B$$

图 1-7 c 中示出用程序线表示“或”函数的方法。在界限线 1~3 范围内变量  $A$  取“1”，在界限线 2~4 范围内变量  $B$  取“1”，故界限线 1~4 范围内的程序线段表示“或”函数，在此范围内  $D = A + B$  均取“1”。

在设计逻辑电路中也经常用到逻辑“或”函数。通过两个短信号进行逻辑“或”组合后可构成一长信号，这尤其在列出执行元件的逻辑表达式时要经常用到。

（3）逻辑“非”在设计逻辑电路时经常要用到与一个信号  $A$  取值相反的信号  $\bar{A}$ ，以完成信号的逻辑组合。图 1-8 中列出信号  $A$  的“非”信号  $\bar{A}$ ，还列出了对应的真值表及程序线图。

在界限线 1~3 范围内信号  $A$  取“1”（图 1-8），显然在界限线 1~3 范围以外的区间内信

号  $A$  均取“0”。如果信号  $A$  在取“1”范围内为常开的，则在取“0”的范围内必为常闭的。由于逻辑“非”的存在，使信号进行逻辑组合时有了更大的灵活性。此外，在设计电路中采用的行程开关如为常开型，则记为  $XK$ ，若为常闭型则记为  $\overline{XK}$ ；同样，若接触器或中间继电器的常开触头记为  $C$  及  $JZ$  时，则它们的常闭触头记为  $\overline{C}$  及  $\overline{JZ}$ 。需注意，在电路中同一组常开触头与常闭触头的数字符号相同，只是它们的图形符号不同。

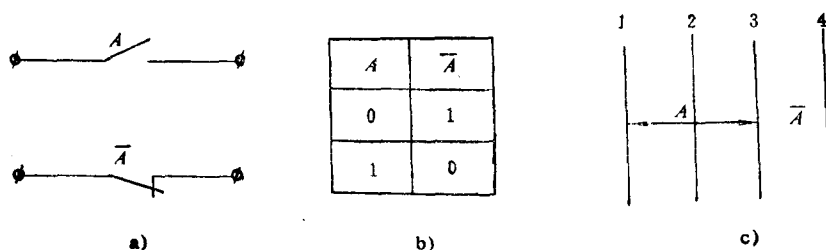


图1-8 逻辑“非”电路

a) 电路原理图 b) 真值表 c) 程序线图

如前所述，为了消除电路中的干扰信号，要采用开关信号与中间继电器信号间的逻辑组合信号来控制执行元件。故如何正确选用中间继电器就成为电路设计中的主要问题，其中包括：选用中间继电器的数量、每一中间继电器的起动与解除信号及中间继电器的触头数量等。

表1-1 程序控制图表

为了判断电路中是否有干扰信号，采用上述方法，即按程序式及工艺流程图画出电路图（用直接联线法），然后再逐个去检验干扰是比较麻烦的，而且也容易出错。采用下面将要介绍的程序图表逻辑线路设计法时，可不必画出电路图，而是利用程序控制图表检验是否有对偶线的方法来判断是否有干扰。这种方法比较简单，也不易出错。

#### 程序控制图表绘制方法

表 1-1 中列出了表示系统中各元件间相互关系的所谓程序控制图表。

程控图表中包括的元件有信号元件（ $XK$ ）、中间记忆元件（ $ZJ$ ）、执行元件（ $DT$ ）及执行机构（ $A$ 缸、 $B$ 缸等）。制图方法如下：

（1）执行机构动作线 按生产机械的工艺流程图，把动作程序，如  $A$ 缸

进（或  $A_1$ ）、 $A$ 缸退（或  $A_0$ ）填写在图表的动作栏中。然后在执行机构栏中绘出执行机构在各相位中的状态：工作缸活塞杆伸出表示为  $\_/\_$ ，活塞杆缩回表示为  $\_ \backslash \_$ 。很明显，动作线的长短是由工艺流程图中的动作程序决定的，不能任意延长或缩短。

| 元件类别  |     | 动作   | No. |     |     |     |     |   |
|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|---|
|       |     |      |     | 1   | 2   | 3   | 4   | 5 |
| 执行机构  |     | 原始状态 | A缸进 | B缸进 | B缸退 | A缸退 |     |   |
|       |     |      | QA  | 2XK | 4XK | 3XK | 1XK |   |
| 执行元件  | A缸  |      |     |     |     |     |     |   |
|       | B缸  |      |     |     |     |     |     |   |
|       | QF1 | 1DT  |     |     |     |     |     |   |
|       |     | 2DT  |     |     |     |     |     |   |
| 信号元件  | QF2 | 3DT  |     |     |     |     |     |   |
|       |     | 4DT  |     |     |     |     |     |   |
| 中间继电器 | QA  |      |     |     |     |     |     |   |
|       | 2XK |      |     |     |     |     |     |   |
|       | 4XK |      |     |     |     |     |     |   |
|       | 3XK |      |     |     |     |     |     |   |
|       | 1XK |      |     |     |     |     |     |   |
| 中继电器  | 1ZJ |      |     |     |     |     |     |   |
|       | 2ZJ |      |     |     |     |     |     |   |

(2) 执行元件程序线 根据执行机构的动作线可以画出各执行元件, 即电磁气阀 QF 的动作线。如 A 缸在界限线 1 处开始前移, 则控制阀 QF1 换向的电磁铁线圈 1DT (图 1-1) 应从界限线 1 处开始通电; 在界限线 2 处 A 缸前移结束并一直保持到界限线 4 处, 故 1DT 应在界限线 1~4 间保持有信号输入, 其程序线有效区在界限线 1~4 之间。从界限线 4 处开始应该是 2DT 通电。很显然, 为了使同一电磁气阀的两侧信号不发生干扰, 其两侧控制信号应互为“非”的关系; 如上述, 界限线 1~4 间为 1DT 的程序线有效区, 则界限线 1~4 以外为 2DT 的程序线有效区。表 1-1 中 3DT 的程序线有效区为界限线 2~3 间, 则界限线 2~3 以外为 4DT 的程序线有效区。因此在绘制程控图表时, 只要画出电磁气阀一端电磁铁的程序线后, 其另一端电磁铁的程序线按“非”原则, 就很容易画出。

图 1-1 中采用的电磁气阀为双电控式并具有记忆功能。这种阀只有在某一侧有电信号输入时, 才换向; 当控制信号解除后, 它保持原位。因此这时执行元件的程序线可以缩短, 即程序线终点可以提前结束, 如表 1-1 中 1DT 程序线可由原来的界限线 4 提前为界限线 3, 如设计电路中有必要时也可提前为界限线 2。这一特点给电路设计提供了很大灵活性, 这可从后面的阐述中看到。

(3) 信号元件程序线 现场开关信号的起点与终点, 即信号元件程序线长短取决于生产设备的工艺流程。如表 1-1 中行程开关 2XK 是由 A 缸前移到终点时压合接通的, 而 4XK 是由 B 缸前移到终点时压合接通的, 因此信号开关的动作起点取决于工艺流程, 当工艺流程图确定后, 每个开关的动作起点也就固定了下来。信号开关的动作终点也是由工艺流程决定, 如 2XK 是由 A 缸在前移终点处压合而接通的, 只有在 A 缸开始后退时它才逐渐被释放; 而 4XK 是由 B 缸在前移终点处压合而接通的, 故只有在 B 缸开始后退时它才逐渐被释放。因此信号元件程序线的起点与终点不能任意改变, 即其程序线长短是一定的。

从表 1-1 中可看到, 每一相位前均有一起动信号, 如 A 缸进是由起动按钮起动的, B 缸进是由 2XK 起动的……等等。如果在信号元件栏内开关信号按起动次序排列, 则各相位的起动信号的起点, 即各 XK 程序线的起点势必在图表中呈阶梯状排列。因此, 在画出 QA 的起点后, 其它信号元件程序线的起点即可很容易画出, 如表 1-1 中所示。各信号元件程序线终点也不难画出: 为了画出其终点, 须先看该程序线的起点控制开关是由哪一执行机构撞合的, 如 2XK 程序线的起点是由于 A 缸前移至终点被压合而接通的, 故其终点应在 A 缸后退开始相位前 (界限线 4); 又如 3XK 程序线的起点是由于 B 缸后退至终点被压合而接通的, 故其终点应在 B 缸开始前进相位前 (界限线 2)

在画信号元件程序线时除应遵循上述原则外, 还有两点要注意: 1) 信号元件接通随后又释放, 如表 1-1 中行程开关 4XK; B 缸前移到终点撞通它, 但随后 B 缸应后退, 故 4XK 立即被释放, 其程序线很短, 不及一个相位长度, 这时可用  $| \longleftrightarrow$  表示, 并称其为瞬时信号; 2) 行程开关程序线的终点有迟后现象。如 A 缸退相位开始后 (界限线 4), 行程开关 2XK 的程序线并不马上结束, 而是超过界限线 4 而发生释放延后现象, 其它如 1XK、3XK 程序线的终点均有这一现象。这一现象的产生是由于行程开关的机械机构特点造成的。我们知道, 一般机械式行程开关被压合时其内部的复位弹簧被压缩, 当执行机构离开该行程开关时复位弹簧是逐渐复位的。因此下一相位动作虽已开始, 但被压合的开关不是立即释放。如行程开关 3XK, 虽然 B 缸已开始前移, 但由于它不是立即释放, 故发生终点迟后现象。

### 确定对偶线

通过制出的程控图表可以清楚地显示出各开关信号间的关系，从而为正确地设计控制电路打下了基础。合理的控制电路应该满足下列条件：当电路中接通的开关信号相同时，系统中生产机械（即表 1-1 中的执行机构）的动作应该相同。如果电路中接通的开关信号相同，但执行机构的动作不同，则这种电路是不合理的，它不能正常工作，也就是不符合“逻辑”。为了设计出合理的逻辑线路，就必须消除上述现象。利用程控图表可以方便地确定该系统是否存在这种不合“逻辑”的现象。检验的方法是根据程控图表判断它是否有对偶线存在。所谓对偶线就是两条或两条以上的界限线，其线上所有处于接通的开关信号不仅标号相同而且开关信号数量也相同，即开关信号的状态完全相同，但其随后的控制相位中执行机构的动作状态却不相同。如果出现对偶线，就表明仅靠现有的现场开关信号不能实现工艺流程中或程控图表中要求的动作程序，这时就必须采用新的信号以解除“对偶”现象。常用的解除“对偶”现象的方法是在系统中引入由中间继电器提供的控制信号。

从表 1-1 中可看到，界限线 2 及 4 构成对偶线，因为其上的接通信号均为 2XK 及 3XK，而它们在随后的控制相位中执行机构的动作不相同，一为 B 缸进，一为 A 缸退。如果这时在系统中引入中间继电器 1ZJ，且其程序线位于界限线 1~3 范围内，这时界限线 2 上除有开关信号 2XK 及 3XK 处于接通状态外，还有新引入的 1ZJ 信号处于接通状态。很明显，界限线 2 不再与界限线 4 构成对偶线。

正确选择中间继电器的程序线长短对消除“对偶”现象很重要。如果上例中中间继电器的程序线取为界限线 1~4 范围内，显然它对于解除“对偶”现象毫无帮助，因这时界限线 2 与 4 上同时加入了同一个信号 1ZJ，二者仍构成对偶线。另外，在满足上述要求外，还要考虑在列写中间继电器的逻辑表达式时是否能容易选出合适的起动与复位用开关信号。按本例确定的中间继电器程序线（在界限线 1~3 之间），可选取 QA 为起动信号，选取 4XK 为复位信号，并利用中间继电器的自锁触点保持它在界限线 1~3 范围内取“1”。表 1-1 中的中间继电器 2ZJ 是为在列写执行元件的逻辑表达式时由于开关信号不够用而引入的，这在下面要详细讲述。

### 3. 列写逻辑表达式

通过设计程控图表可以寻找出对偶线，若存在对偶线，则随之按上述方法确定中间继电器的程序线。有了中间继电器的程序线，即明确了该中间继电器何时要起动，何时需断电。因此，根据中间继电器的起动信号与复位信号可以列写中间继电器程序线的逻辑表达式。

（1）中间继电器程序线的逻辑表达式 在控制电路中引入中间继电器，一般是利用它能在一定的相位中保持通电状态的性质，而达到控制其它执行元件的目的。如表 1-1 中的中间继电器 1ZJ 要在两个相位（A 缸进及 B 缸进相位，或称为相位 1 及 2）中保持通电状态。首先，当按下起动按钮 QA 时，得一起动信号，中间继电器通电；在其作用下，位于与 QA 平行的支路中的常开触头 1ZJ 闭合，这样在 QA 释放后，由于 1ZJ 处于闭合位置，继电器仍保持得电；表 1-1 中中间继电器 1ZJ 应在界限线 3 处断电，而在界限线 3 上有行程开关 4XK 被压合。故可用行程开关 4XK 使中间继电器 1ZJ 断电，但行程开关必须是常闭型的，即在被撞压时它断开中间继电器 1ZJ 的控制回路。按上述要求可绘出中间继电器 1ZJ 的控制回路，如图 1-9 所示。

根据前述信号逻辑组合的表示方法，中间继电器 1ZJ 程序线的逻辑表达式可写成：

$$f_{1ZJ} = (QA + 1ZJ) \cdot \overline{4XK} \quad (1-1)$$

在工艺流程图中(图1-4)还设有动作联锁用信号开关1XK,故式(1-1)应改写为:

$$f_{1ZJ} = (QA \cdot 1XK + 1ZJ) \cdot \overline{4XK} \quad (1-2)$$

按式(1-2)制出的控制电路如图1-10所示。

同理,表1-1中中间继电器2ZJ的逻辑表达式可写成:

$$f_{2ZJ} = (4XK + 2ZJ) \cdot \overline{1XK} \quad (1-3)$$

关于中间继电器2ZJ的用途将在后面阐述,其起动信号为4XK(位于界限线3上),释放信号(或称解除信号)为1XK(在界限线5上),而常开触头2ZJ为其自锁触头。

按式(1-3)可画出中间继电器2ZJ的控制电路,如图1-11所示。

(2) 执行元件程序线的逻辑表达式 在图1-1所示控制装置中,执行元件就是用来控制电磁气阀换向的电磁铁DT。在控制电路中,要使电磁铁线圈在一定相位中通电,在一定相位中断电。如表1-1中电磁铁线圈1DT应在相位1、2及3中(或界限线1~4间)得电,而在其它相位中断电。从上述可知,信号元件的接通或断开由执行机构(气缸)的位移决定,中间

继电器线圈的通电或断电由开关元件控制,执行元件线圈的通电或断电由开关信号元件和中间继电器信号元件控制。在程控图表上,执行元件程序线可能表示为一条线段,也可能由多段程序线组合而成。因此由开关信号元件或由它与中间继电器信号元件组成的逻辑组合信号必须能逐段覆盖住执行元件的程序线。具体做法将结合下面的设计实例逐一说明。

1) 电磁铁线圈1DT 1DT的程序线在界限线1~4内取“1”。为了覆盖1DT的程序线,可采用两种方式:一是把1ZJ与2XK组合一个逻辑“或”信号,其程序线正好全部覆盖1DT的程序线,即 $f_{1DT} = 1ZJ + 2XK$ ;二是把1DT的程序线缩短,按前述原因缩短在界限线1~3范围内,则只用中间继电器1ZJ的常开触头即可全部覆盖1DT的程序线,这时可写出逻辑表达式为:

$$f_{1DT} = 1ZJ \quad (1-4)$$

显然,后一方案比较合理,它只用一个触头即可实现控制。

2) 电磁铁线圈2DT 2DT程序线位于界限线4~6范围内。要达到全部覆盖的目的,单靠开关信号不能满足要求,因此必须再外加一中间继电器2ZJ。把中间继电器信号2ZJ与开关信号3XK进行逻辑“与”组合而成的信号 $2ZJ \cdot 3XK$ ,其程序线正好全部覆盖2DT的程序线。故可写成:

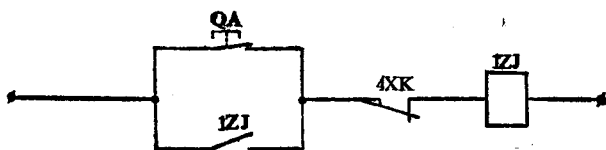


图1-9  $f_{1ZJ}$  的控制电路

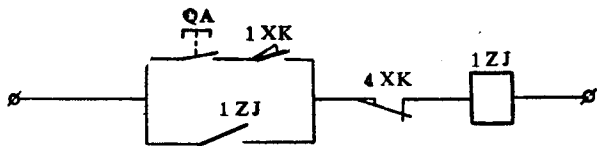


图1-10 带联锁信号的  $f_{1ZJ}$  控制电路

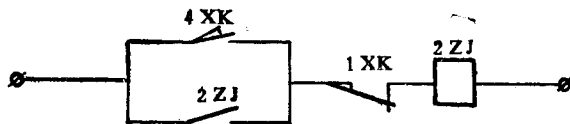


图1-11  $f_{2ZJ}$  的控制电路



## 1. 工艺流程图及程序式

设有两气缸 A 及 B (参照图 1-1), 要求动作程序为  $A_1 B_1 B_0 A_0$ , 但要求 B 缸后退至原位后停留一段时间 ( $\Delta t$ ), A 缸再后退。其工艺流程图如图 1-13 所示。

显然, 上述工艺流程的程序式应为:  
 $A_1 B_1 B_0 \Delta t A_0$ 。

## 2. 检验干扰及设计程序控制图表

按前述直接联线法原理, 根据图 1-13 所示工艺流程图可绘出  $A_1 B_1 B_0 \Delta t A_0$  控制电路(图 1-14)。下面对此电路进行干扰检验。

当生产机械在原始位置压合 1XK 时, 按动起动按钮 QA, 电磁铁线圈 1DT 通电, A 缸应前移。但电磁铁线圈 2DT 这时也带电, 因为 2DT 由时间继电器 SJ 的延时闭合常开触头控制, 而时间继电器 SJ 由行程开关 3XK 控制; 当生产机械在原始位置时, 只要电源接通, 即可通过 3XK 使时间继电器 SJ 通电, 经过一定延时后, 其常开触头自动合上, 使 2DT 通电。故起动按钮 QA 按下时, 因出现干扰信号, 1DT 不能使气阀 A 换向。为了向下检验干扰, 假设气阀能顺利换向, A 缸前移。A 缸前移至终点碰通行程开关 2XK, 3DT 通电, 这时 4DT 不带电, 因行程开关 4XK 打开着。B 缸前移至终点碰通行程开关 4XK, 4DT 通电。但这时 3DT 仍带电, 因 2XK 仍被 A 缸压合。故开关信号 2XK 为干扰信号。为继续进行干扰检验, 假设 B 缸能顺利后退。B 缸后退至终点碰通 3XK, 时间继电器 SJ 通电, 经过规定延时  $\Delta t$  后, 其常开触头闭合, 2DT 通电, A 缸后退, 由于 1DT 在 QA 释放时已断电, 故 A 缸能顺利后退。A 缸后退至终点碰通 1XK, 为下次再起动 A 缸做好了准备。

由上述检验结果可以看出, 用直接联线法设计此带延时程序的控制电路时, 存在着两个干扰信号, 即 2XK 与 3XK。这一结论与前述只带行程程序的控制电路被干扰情况相同(图 1-5)。

为了消除干扰, 仍采用上面讲过的程控图表逻辑线路设计法。为此, 首先要设计程控图表, 从中寻找对偶线, 再合理设定中间继电器。

表 1-2 为根据程序式  $A_1 B_1 B_0 \Delta t A_0$  设计得出的程控图表。表中填写的项目与程控图表 1-1 相同, 只是在动作栏中增加延时 ( $\Delta t$ ) 项, 在信号元件栏中增加时间继电器 SJ 项。

由表 1-2 可看出, 界限线 2 与 4 仍为对偶线, 因为在此两线上接通的开关信号均为 2XK 与 3XK, 虽然在界限线 4 上时间继电器 SJ 被开关 3XK 接通, 但时间继电器 SJ 的常开延时闭合触头并未闭合, 而是在经过规定的延时  $\Delta t$  后, 在界限线 5 上才闭合。为了消除“对偶”, 应设置中间继电器, 其中间继电器 (12J) 设置的位置及其程序线长短与表 1-1 中相同。

显然, 在带时间延时程序的电路设计中, 时间继电器触头的动作对是否形成对偶线有直接影响, 这要根据具体情况进行具体分析。

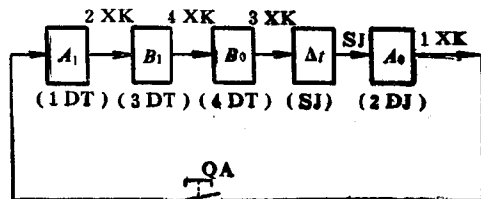


图 1-13 工艺流程图  
 $(A_1 B_1 B_0 \Delta t A_0)$

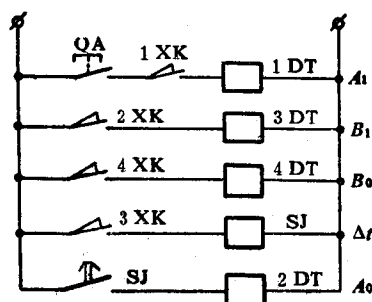


图 1-14  $A_1 B_1 B_0 \Delta t A_0$  控制电路  
 (直接联线法)