

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

制造装备电气控制

汤以范 编著

清华大学出版社

上海市本科教育高地建设
机械制造及其自动化系列教材

制造装备电气控制

汤以范 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书介绍制造装备电气控制技术,全书共分5章。内容包括:继电-接触器开关控制系统与恒值自动控制系统的构造与设计方法;直流电动机四象限闭环控制系统与数字稳速系统的组成原理和调节器的工程设计方法;交流电动机变频调速在速度、位置、张力与同步控制系统中的应用技术;PLC在模拟量控制、PID控制、步进电动机位置控制与数控插补控制中的应用技术与程序设计方法;数控机床位置伺服控制系统的组成与进给伺服系统的性能分析方法。每章附有习题与思考题,方便学生复习与掌握该章内容。

本书适用于机械工程及自动化专业和机械设计制造及其自动化(现代装备与控制工程)专业的本、专科学生作为教材,也可以作为电气自动化专业和相关专业的专业课教材。书中所举的应用实例具有较好的应用价值,可供工程技术人员学习参考。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

制造装备电气控制/汤以范编著. —北京:清华大学出版社,2008.12

(上海市本科教育高地建设机械制造及其自动化系列教材)

ISBN 978-7-302-19065-3

I. 制… II. 汤… III. 机械制造—工艺装备—电气控制—高等学校—教材 IV. TH-39

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第204256号

责任编辑:庄红权 赵从棉

责任校对:赵丽敏

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦A座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京市昌平环球印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185×260

印 张:16

字 数:381千字

版 次:2008年12月第1版

印 次:2008年12月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:29.00元

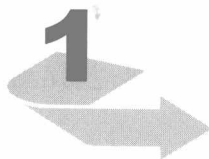
本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。
联系电话:010-62770177 转 3103 产品编号:032038-01

目录

1	自动控制系统的构造方法	1
1.1	电气控制电路图的绘制和分析方法	1
1.1.1	电气控制电路图的绘制方法	1
1.1.2	继电-接触器电气控制电路图的分析方法	2
1.2	恒值控制系统的构造方法	29
1.2.1	恒值控制系统在水位控制系统上的应用	29
1.2.2	恒值控制系统在恒温控制系统上的应用	32
1.2.3	恒值控制系统在气割机器人驱动控制系统上的应用	34
1.2.4	恒值控制系统在恒张力卷取控制系统上的应用	36
	习题与思考题	37
2	直流电动机控制系统	40
2.1	典型生产机械的工艺要求及制造装备电气控制的任務	41
2.1.1	典型生产机械的工藝要求	41
2.1.2	制造装备电气控制的任務	44
2.2	电动机控制系统驱动电源及反馈信号检测方法	45
2.3	直流电动机不可逆调速系统	53
2.3.1	直流电动机的调速方案	53
2.3.2	晶闸管供电的不可逆直流调速系统	54
2.4	调节器的工程设计方法	63
2.4.1	典型系统	63
2.4.2	控制系统的动态性能指标	65
2.4.3	典型Ⅰ型系统性能指标和参数的关系	66
2.4.4	典型Ⅱ型系统性能指标和参数的关系	69
2.4.5	调节器结构的选择和传递函数的近似处理——非典型系统的 典型化	71
2.5	按工程设计方法设计双闭环系统的调节器	73

2.5.1	电流调节器的设计	73
2.5.2	转速调节器的设计	76
2.6	晶体管直流 PWM 调速系统	78
* 2.7	可逆调速系统	81
2.7.1	概述	81
2.7.2	有环流可逆调速系统	87
2.7.3	无环流可逆调速系统	92
2.7.4	磁场可逆调速系统	95
* 2.8	稳速系统	98
2.8.1	数字稳速系统	99
2.8.2	锁频锁相技术	102
2.8.3	微机控制锁相传动系统	106
习题与思考题		107
3	交流电动机的变频控制	112
3.1	速度控制系统	112
3.1.1	开环控制	112
3.1.2	闭环控制	113
3.1.3	与速度控制有关的特殊控制	114
3.1.4	变频调速系统的特殊问题	114
3.2	位置控制系统	115
3.2.1	开环位置控制	116
3.2.2	手动位置控制	117
3.2.3	闭环位置控制	117
3.3	张力控制系统	119
3.3.1	采用转矩电流控制的张力控制	120
3.3.2	采用拉伸的张力控制	120
3.3.3	采用调节辊的张力控制	121
3.3.4	采用张力传感器的张力控制	122
3.4	PID 控制	123
3.5	同步控制系统	129
3.5.1	FR-A540 变频器简介	129
3.5.2	FR-500 系列变频器在同步控制中的应用	143
习题与思考题		147
4	制造装备的 PLC 控制	148
4.1	PLC 模拟量概述	148
4.1.1	PLC 模拟量控制过程	148
4.1.2	PLC 模拟量输入输出方法	149

4.2	模拟量开环控制	152
4.2.1	开环特性	152
4.2.2	开环控制	153
4.3	模拟量简单闭环控制	157
4.3.1	ON/OFF 输出控制	157
4.3.2	负反馈控制	158
4.3.3	偏差控制	160
4.3.4	无静差控制	160
4.4	常规指令实现 PID 控制	161
4.4.1	PID 控制基本公式	162
4.4.2	PID 控制程序实现	162
4.5	专用指令实现 PID 控制	164
4.5.1	三菱 FX PLC PID 指令	164
4.5.2	西门子 S7-200 PLC PID 指令	173
4.6	步进电机控制系统	178
4.6.1	独立运动控制	179
4.6.2	协调运动控制	184
	习题与思考题	195
5	数控机床位置伺服系统	197
5.1	数控机床常用传感器及检测装置	197
5.1.1	检测装置的要求与分类	197
5.1.2	旋转变压器	198
5.1.3	感应同步器	200
5.1.4	旋转编码器	207
5.1.5	光栅	209
5.1.6	磁栅	212
5.2	进给伺服系统概述	214
5.2.1	伺服系统常用的控制方式	214
5.2.2	数控机床运动方式对伺服系统的要求	217
5.2.3	检测信号反馈比较方式	217
5.3	进给伺服系统分析	235
5.3.1	进给伺服系统的数学模型	235
5.3.2	进给伺服系统的动、静态性能分析	236
5.3.3	前馈控制	238
5.3.4	位置指令信号分析	239
5.3.5	指令值的修正	240
	习题与思考题	240
	参考文献	242



自动控制系统的构造方法

1.1 电气控制电路图的绘制和分析方法

1.1.1 电气控制电路图的绘制方法

电气控制电路图是把某些电气元件(如接触器、继电器、按钮、行程开关等)和电动机等用电设备按某种要求用导线连接起来的电气线路。为了设计、分析研究、安装维修时阅读方便,在绘制电气控制电路图时,必须使用国家统一规定的电气图形符号和文字符号。国家标准 GB/T 6988.1~GB 6988.3—1997《电气技术用文件的编制》和 GB/T 6988.6—1993《控制系统功能表的绘制》规定了电气技术领域各种图的绘制方法;国家标准 GB/T 4728.1~GB 4728.13—(1985—1996)《电气简图用图形符号》规定了绘制各种电气图用的图形符号总则;国家标准 GB/T 7159—1987《电气技术中的文字符号制订通则》规定了文字符号的组成规则。

电气图的种类很多,在电气控制中最常用的3种图是电路图、电气设备位置图和电气设备接线图。

1. 电路图

电路图用于详细表示电路、设备或成套装置的全部基本组成和连接关系,而不考虑各电气元件的实际安装位置和实际接线情况,其用途是:

- (1) 便于详细理解电路、设备或成套设备及其组成部分的作用原理。
- (2) 为测试和寻找故障提供信息。
- (3) 作为编制接线图的依据。

绘制电气电路图时,一般要遵循以下规则:

- (1) 为便于分析看图,电路或元件应按功能布置,并尽可能按其工作顺序排列。对因果次序清楚的,其布局顺序应该从左到右和从上到下。
- (2) 电气控制电路分为主电路和控制电路,要分开来画。
- (3) 电气控制电路中,同一电气元件的不同部分(如线圈和触头)常不画在一起,但要用同一文字符号标注。
- (4) 电气控制电路的全部触头都按“非激励”状态绘出。“非激励”状态对电操作元件(如接触器、继电器等)是指线圈未通电时的触头状态;对机械操作元件(如按钮、行程开关

等)是指没有受到外力时的触头状态;对主令控制器是指手柄置于“零位”时各触头状态;断路器和隔离开关的触头处于断开状态。

2. 电气设备位置图

电气设备位置图表示各部件(如元件、器件、部件、组件、成套设备等)在机械设备和电气控制中的实际安装位置,图中各部件的文字符号应与有关电路图上的符号相同。各项目的安装位置是要取得信号的地方,操作元件放在便于操作的地方,一般电气元件应放在控制柜内。

3. 电气设备接线图

电气设备接线图表示各部件之间实际接线情况,图中一般标示出:部件的相对位置、部件代号、端子号、导线号、导线类型、导线截面积、屏蔽和导线绞合等内容。绘制接线图时应把各电气元件的各个部分(如触头与线圈)画在一起;文字符号、元件连接顺序、线路号码编制都必须与电路图一致。电气设备位置图和接线图用于安装接线、检查维修和施工。

1.1.2 继电-接触器电气控制电路图的分析方法

任何生产设备或系统,不管它要做多少复杂的工作,都是在其电气控制系统的支配下按照一定规律完成的,是在组成电气控制系统的各个元器件间的相互协调、配合下实现的。而电路图以全景图的形式表现出它们之间的这种协作关系。

分析电路图的过程就是掌握系统工作情况的过程,这是日后维护工作的基础;反过来,若先对系统的工作过程有详细的了解,对分析电路图会起到引导作用,这也是设计电路图的前提。要读懂电路图,首先要弄清电路图上的各个元件起什么作用。电路图中(除了配电部分)的电气元件,基本可以分成3类:执行元件、检测元件和运算元件。

执行元件是用来操纵被控制对象的执行机构,这类元件包括电动机、接触器、电磁阀和电磁离合器等。

检测元件可以把系统工作过程中的一些参量(如机械位移、压力、流量)的变化转换成电信号,这类元件有按钮开关、行程开关和压力继电器等。

运算元件用来对检测元件的信号进行逻辑运算,并判断系统工作过程的各个阶段,使每一阶段都有对应的执行元件工作,这类元件包括中间继电器、时间继电器等。

在某些情况下,可以用检测元件直接控制执行元件,这时,检测元件兼有运算元件的功能。

一套设备或系统的工作过程,可以分解成若干个时间上依次衔接的阶段,称为“工步”。在每一工步内,由执行元件确定正在进行的工作,如“前进”、“后退”等。这些工步在检测元件的控制下产生转换。弄清了系统工作过程中究竟有哪些工步及各元件所呈现的状态和配合关系,就可以说读懂(或分析)了电路图的工作原理或系统的工作过程。

阐述这些工作过程的方法很多,主要有文字叙述法、图形分析法、逻辑函数法、功能添加法和步进逻辑公式法。其中,步进逻辑公式法实际上是逻辑函数法在运用PLC控制技术后的一种新的表现形式。本部分的第4小节,将重点讨论逻辑函数法的这种新的设计方法。

1. 文字叙述法

用自然语言平铺直叙地依次说明各元器件的行为和状态,是普遍采用的方法。文字叙

述法可以非常全面、细腻地阐述电路的工作过程,从而了解每一个细节。

如图 1-1 所示小车进退控制电路的工作过程,若是采用文字叙述法,则如下表述。

按下起动按钮 SB 使 KM_1 线圈得电,小车前进;为防止松开 SB 会使 KM_1 线圈失电,用 KM_1 的动合触头与 SB 并联来维持 KM_1 线圈自身继续得电。当小车运动到 ST_2 处时, ST_2 的动断触头断开使 KM_1 线圈失电,小车停止,同时 ST_2 的动合触头闭合使时间继电器 KT 线圈得电开始计时。2 min 后,时间继电器 KT 的延时动合触头闭合使 KM_2 线圈得电,小车后退。当小车离开 ST_2 时其动合触头断开,时间继电器 KT 将失电,其延时动合触头的立即断开会使 KM_2 线圈失电,使用 KM_2 动合触头与 KT 并联后就可避免这种情况发生。小车退回到原位 ST_1 处时 ST_1 的动断触头断开,切断 KM_2 线圈的供电电路,小车停止。

文字叙述法方法的缺点是不能直观、简明、形象地展开各元件在不同阶段所处的状态和系统工作的全过程。

2. 图形分析法

人们在调试、检修电子设备时常要用示波器观察电路中一些点的电压和电流波形及它们之间的时序关系,从而了解和判断电路的工作状态,这就是图形分析法。图形既简明直观又蕴涵大量信息。电气控制电路中的元器件,绝大部分只存在于两种状态,如线圈或得电或失电,触头或闭合或断开,这样就可简单的线条来标明它们的状态了。图形分析法也有多种形式,常用的有工作流程图、工作状态图和功能表图。而功能表图是将上述工作流程图和工作状态图用步、有向连线、转换、转换条件和动作(命令)组合而成。在 PLC 技术中称作“步进流程状态图”,或称“顺序流程状态图”。本部分仅简单介绍工作流程图和工作状态图的表现形式,对功能表图的表现形式,读者可参阅有关 PLC 的步进指令或顺序指令应用的相关内容。

1) 工作流程图

工作流程图又称工作循环图或工艺流程图。我们仍以图 1-1 为例说明工作流程图的画法。

图 1-1(a)为被控对象示意图。其工作要求是:当小车停在原位 ST_1 处时,若按下起动按钮 SB,小车前进,到达 ST_2 处时停止,停留 2 min 后小车退回到 ST_1 处停止。

图 1-1(b)是实现这种要求的控制电路,接触器 KM_1 得电使小车前进, KM_2 得电使小车后退(暂不考虑实际怎样使小车运动)。

上述控制电路工作流程图可以用阶梯状图形加以描述,如图 1-2 所示。

如将图 1-2 中的阶梯图向时间轴(图中虚线轴)投影,阶梯转折处对应于时间轴上的某一时刻,相邻时刻之间的一段时间内系统处于一种特定的工作状态(这种特定的状态即为一

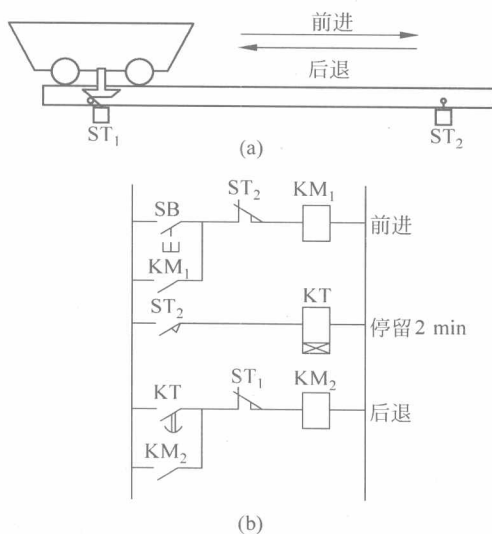


图 1-1 小车进退示意图及其控制电路

个工步)。因此,这种图实际上是电路中各个元件的状态在时间轴上的标示,反映了它们的状态之间的时序关系,能简明直观地反映电路工作的全过程。

许多系统的工作过程是循环或可逆的,为了形象地表示出来,在工作流程图中常把相应部分画成相反的或者闭环的,图 1-2 可以改画成如图 1-3 所示。

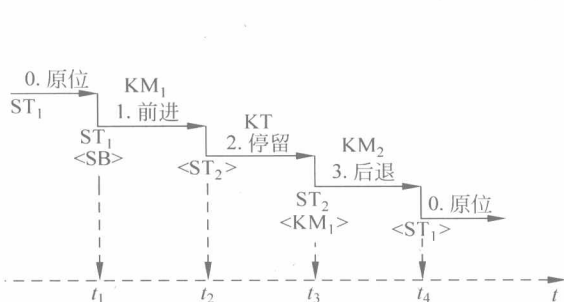


图 1-2 小车运行的工作流程图

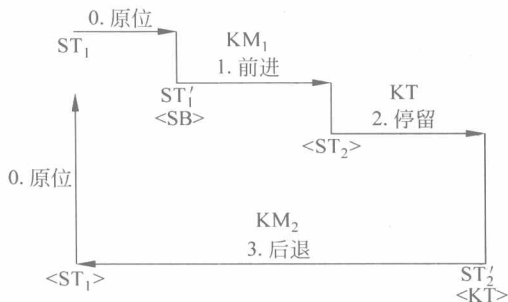


图 1-3 闭环的工作流程图

工作流程图结构清晰,随手可画,是分析和记忆系统工作过程和电气控制电路工作原理的简捷方法。如果想把各元件的状态及相互之间的时序关系表达得更清晰,可使用下面介绍的工作状态图。

2) 工作状态图

很容易将工作流程图转变成工作状态图。现将小车运行的工作流程图 1-2 转变成小车运行的工作状态图,如图 1-4 所示。

步序与主令信号			0	1	2	3	0'
			原位	前进	停留	后退	原位
元件与作用			ST ₁	SB	ST ₂	KT	ST ₁
			检测元件	运算元件	执行元件		
检测元件	SB	起动		●→			
	ST ₁	原位	→				●
	ST ₂	停留位			●→	→	
运算元件	KT	停留定时				●→	
执行元件	KM ₁	前进		→			
	KM ₂	后退				→	

图 1-4 小车运行的工作状态图

关于工作状态图的画法和含义,说明如下。

(1) 工作状态图的结构

工作状态图采用表格的形式。在工作状态图中,纵线表示时间轴上的某一时刻,对应于工作流程图上的开关点,在这里称为执行元件的开关线。执行元件的状态在开关线处发生变化。而检测元件则不然,按照系统的工作顺序横向排列各工步,给出各工步的序号和名称以及各步的主令信号。竖向分类排列各电气元件,除写出元件的符号外还可简要注明其在

系统中所起的作用,以便于分析。

(2) 元件状态的表达方法

对于执行元件和运算元件,用横的粗实线表示其得电状态,空白表示其失电状态;对于检测元件,用带箭头的矢量线表示其受激状态的起止区间,作为主令信号的在其作用点处标记墨点,以便和其他信号相区别,因为检测元件的状态变化不一定就发出主令信号(有时甚至是干扰信号);对于时间继电器,用横的粗线表示其线圈得电和瞬动触头动作区间(如有瞬动触头的话),而延时触头动作区间用矢量线表示。务必注意的是一定要把检测元件之间状态变化的先后时序表示出来,因为这种时序关系往往决定电路的结构。

显然,工作状态图清晰表达了各个电气元件在系统工作的各个阶段的状态变化情况。纵向看,可知某工步内有哪几个执行元件和运算元件得电;横向看,可知它们是怎样交替轮换的。这便从总体上把握了系统的工作情况。在具体的细节上,可以找出一个元件与其他元件之间的相互关系。例如,我们想知道 KM_1 是如何受到控制的,就要找到它的开关线,首先沿着它的开关线观察,只有在这条线上发生状态变化(从非受激到受激或从受激到非受激)的检测元件、运算元件或其他执行元件才可能作为它的得电控制信号(要根据具体情况确定),如图 1-4 中的 SB。因为 SB 的有效持续时间比 KM_1 的得电区短,只用 SB 来控制显然是不行的,因此电路中使用了 KM_1 的自锁触头。使 KM_1 失电的信号自然要从它的关断线上找,可以看出应是 ST_2 。详细的用法在后面的例子中讲述。也可以用“+”或“1”代替图中的实线,“-”或“0”代替图中的空白,此时可称为工作状态表,如表 1-1 所示。

表 1-1 工作状态表

电磁铁 动力头	YA_1	YA_2	YA_3	转换主令
快进	+	-	+	SB_1
工进	+	-	-	ST_3
快退	-	+	-	ST_4
停止	-	-	-	ST_1

但当在一个工步内有多个检测元件的状态发生转变时,用状态表就难以表示出它们之间的时序关系,这是其不足之处。

3) 图形分析法举例

在许多生产领域广泛采用液压传动或气压传动系统,完善、可靠的电气控制电路是其发挥作用的基础。液压传动系统易获得较大的力矩,运动传递平稳、均匀,准确可靠,控制方便,易实现自动化。

例 1 液压动力头控制电路。

动力头是既能完成进给运动,而且又能同时完成刀具切削运动的动力部件。液压动力头的自动工作循环是由控制电路控制液压系统来实现的。

图 1-5 是一次工作进给液压系统及其电气控制电路图,因为电磁阀没有触头,对短信号无自锁能力,所以要使用中间继电器,系统可工作于自动和手动两种工作方式。

(1) 自动工作方式

把选择开关 SA 拨在“自动”位置,系统按行程控制原理实现自动工作循环,动力头快

进→工作进给→快速退回到原位。其工作过程如图 1-6 所示。

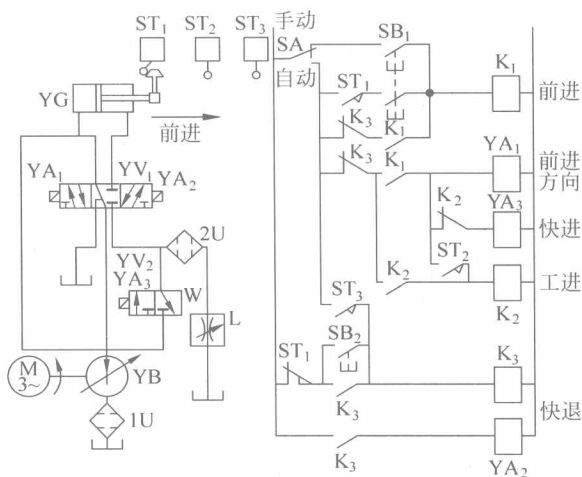


图 1-5 一次工作进给电气控制电路图

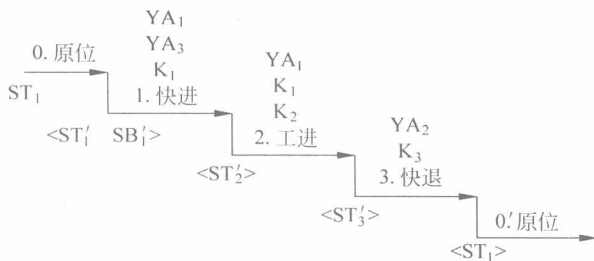


图 1-6 工作流程图

① 动力头原位停止 动力头由液压缸 YG 带动，可做前后进给运动。当电磁阀线圈 YA₁、YA₂、YA₃ 都断电时，电磁阀 YV₁ 处于中间位置，动力头停止不动。动力头只有在原位时，行程开关 ST₁ 被挡铁压动，其动合触头闭合，此时起动按钮 SB₁ 才能按下有效，在工作流程图中用 ST₁ 同 SB₁ 的“与”来表明这点。

② 动力头快进 按起动按钮 SB₁，中间继电器 K₁ 得电动作并自锁，其动合触头闭合使电磁阀线圈 YA₁、YA₃ 通电。YA₁ 通电后液压油把液压缸的活塞推向右端，动力头向前运动。此时由于 YA₃ 也通电，除了工进油路外，还经阀 YV₂ 将液压缸小腔内的回油排入大腔，加大了油的流量，所以动力头快速向前运动。

③ 动力头工进 在动力头快进过程中，当挡铁压动行程开关 ST₂ 时，其动合触头闭合，使 K₂ 得电动作，K₂ 的动断触头断开，使 YA₃ 断电，使动力头自动转为工作进给状态。K₂ 的动合触头接通自锁电路（如果挡铁的长度超过行程开关 ST₂ 与 ST₃ 间的距离，就不用此触头）。

④ 动力头快退 当动力头工作进给到期望点时，由行程开关 ST₃ 检测并发出信号，其动合触头闭合使 K₃ 得电动作并自锁。K₃ 动作的结果是：其动断触头断开，使 YA₁、YA₃ 断电，动合触头闭合，使 YA₂ 得电，油路换向得以实现，液压缸活塞左移，动力头快速退回。动力头退回原位后，ST₁ 被压动，其动断触头断开，使 K₃ 断电，因此 YA₂ 也断电，动力头停止。

(2) 手动工作方式

将选择开关 SA 拨在“手动”位置。此时按动按钮 SB_1 也可接通 K_1 使电磁阀线圈 YA_1 、 YA_3 通电, 动力头快进。但由于 K_1 不能自锁, 因此放松 SB_1 后, 动力头立即停止, 这种工作方式称为手动或点动。

SB_2 是后退按钮, 当动力头不在原位需要后退时, 按下 SB_2 , 使 K_3 得电动作, YA_2 得电, 动力头做快退运动, 直到退回原位, ST_1 被压下, K_3 断电, 动力头停止。

例 2 半自动车床刀架纵进、横进、快退控制电路。

图 1-7 及图 1-8 是半自动车床刀架的液压系统和电气控制电路图。图中 YG_1 及 YG_2 分别是纵向液压缸和横向液压缸, 分别由电磁阀 YA_1 、 YA_2 控制, 实现刀架纵向移动和横向移动及后退。 M_2 为液压泵电动机, M_1 为主电动机, 分别由接触器 KM_1 、 KM_2 控制。 KT 是时间继电器, 为了进行无进刀切削而设。

其工作过程如下:

- ① 按 SB_3 , 液压泵起动工作。
- ② 按 SB_4 , 中间继电器 K_1 得电, 一是接通 KM_2 , 主轴转动; 二是接通电磁阀 YA_1 , 刀架纵向移动。

③ 当刀架纵向移动到预定位置被机械限位, 压合行程开关 ST_1 , 使 K_2 得电, 其动合触头接通 YA_2 , 刀架横向移动进行切削。

④ 当刀架横向移到预定位置被机械限位, 压合行程开关 ST_2 , 时间继电器 KT 通电。这时进行无进刀切削, 经过预定延时时间后, KT 的延时动合触头接通 K_3 , 使 K_1 、 K_2 断电, 其动合触头使 YA_1 、 YA_2 断电, 刀架纵、横均后退, 直至原位被限位。

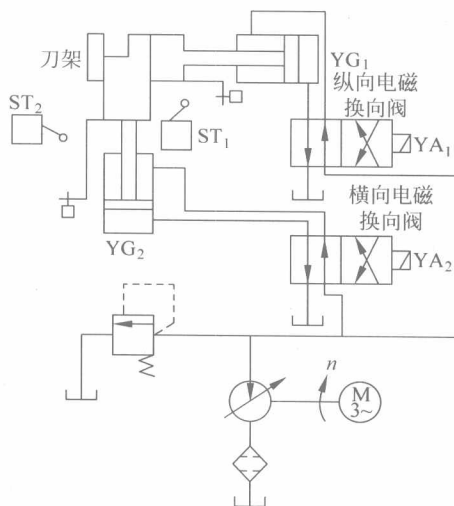


图 1-7 半自动车床刀架的液压系统

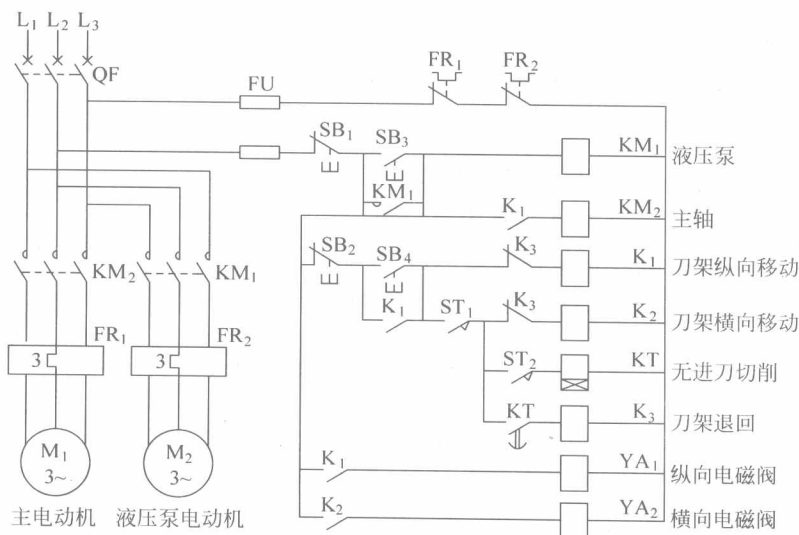


图 1-8 半自动车床刀架的电气控制电路图

⑤ 当 K_1 断电后,其动合触头使 KM_2 断电,主轴电动机停转。按下 SB_1 ,液压泵停止工作;在此之前若按下 SB_4 ,则开始又一次循环。上述过程可用工作流程图表述为图 1-9。

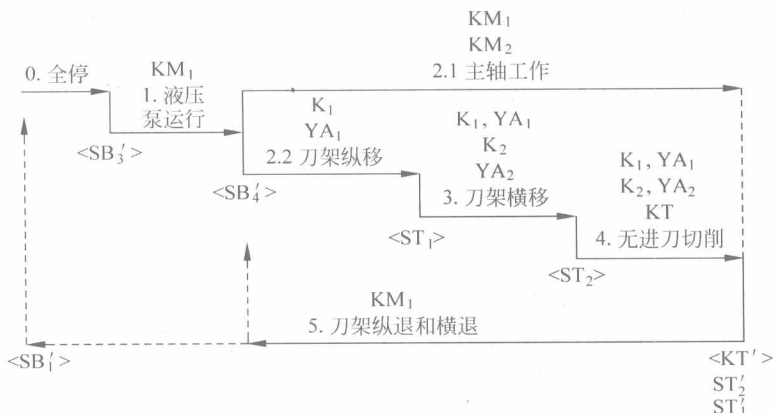


图 1-9 工作流程图

注意: 在液压控制系统中,某个运动停止(机械限停)前后该运动的控制元件的状态有时可以不变,而在电动机驱动的系统一般不行,因此前者的电气控制系统相对简单。将本例中的纵、横运动改为电动机驱动,请自行比较结果。

3. 功能添加法

如图 1-10 所示,假设有一辆小车由电动机 M 带动,电动机要旋转必须有电源,于是通过添加一个三相断路器(三相断路器至少具有缺相和过流保护功能)接通电动机 M (如图 1-11 所示)。



图 1-10 添加功能前的运动初图



图 1-11 添加断路器

但是用断路器直接去通断电动机的电源除了有触电的危险之外,重要的是无法实现远距离控制,于是,添加常开按钮 SB_1 ,用以控制接触器 KM_1 上线圈的得电状态,用 KM_1 的主触点控制电动机的得电状态(如图 1-12 所示)。

此时三相断路器成为总电源开关,按下 SB_1 后 KM_1 线圈得电,主电路中的常开触点 KM_1 闭合, M 电源接通,小车开始向右运动。为了安全考虑,自动控制系统一般不能使用带自锁的起动按钮,因此,使能 SB_1 的外力必须保持才能维持 M 运行,外力一旦

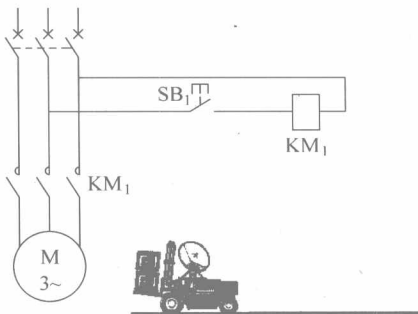


图 1-12 第一次添加功能过程

松开, SB_1 自动返回原始断开状态, KM_1 的线圈失电, 电动机 M 脱离电网, 小车就会停止运动。 SB_1 成为电动机的点动运行按钮。

为此, 添加 KM_1 常开辅助触点, 将其与 SB_1 并联, 因此, 电动机起动后, 当外力释放 SB_1 自动弹回时, 与 SB_1 并联的这个常开触点此时闭合, 使电动机锁定在通电状态, 因此, 通常称这种触点为“自锁触点”, 而按钮 SB_1 的作用也从点动变成了起动, 如图 1-13 所示。

因为接触器 KM_1 的自锁, 改变了 SB_1 的作用, 电动机起动后将无法停止, 为此, 在控制电路上添加一个常闭按钮 SB_2 (如图 1-14 所示), 当小车需要停止时, 只需按一下 SB_2 , 接触器 KM_1 线圈失电, 小车就会停止。 SB_2 起停止作用。

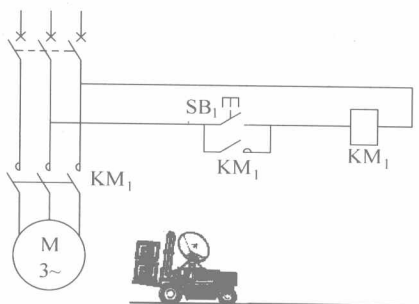


图 1-13 第二次添加功能过程

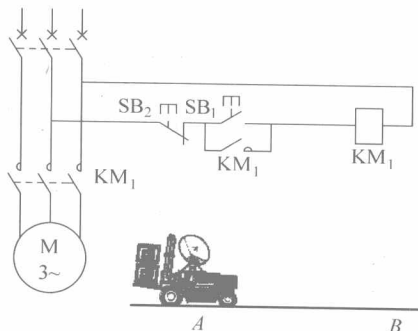


图 1-14 第三次添加功能过程

利用这种电路, 我们可以使小车从 A 点向右运行到任意一点 B 停止。但是运行到 B 点以后, 如果让小车再返回 A 点, 应该轻轻地按一下另一个按钮, 小车即可自动返回。也就是说轻轻地按一下反转按钮让电动机自动反转。模仿正转控制电路, 添加反转控制电路, 这里用 SB_3 表示反向起动按钮, KM_2 表示控制电动机反转的接触器 (如图 1-15 所示)。根据电机学的知识: 电动机的三相电源的相序发生变化, 电动机的旋转方向就会发生变化。

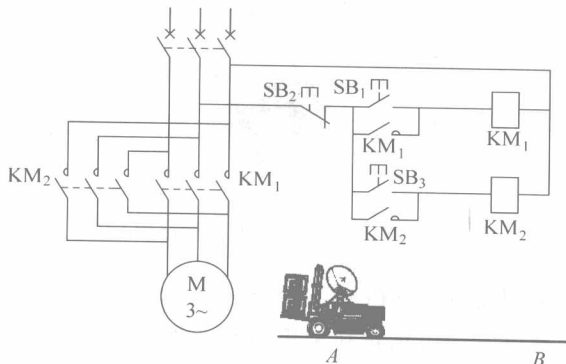


图 1-15 第四次添加功能过程

但是这个线路有一个缺点, 当小车正在向某一方向运动时 (如向右运动), 如果需要停止, 按错了按钮, 把另一方向的起动按钮 (例如 SB_3) 当成停止按钮, 将会发生电源短路事故。为了避免 KM_1 和 KM_2 两个线圈同时得电, 线路必须做如下改进: 添加 KM_1 或 KM_2 的辅助常闭触点, 将对方的辅助常闭触点串联在自己 (KM_2 或 KM_1) 的线圈回路上, 当小车向某一方向运动时, 不先按动停止按钮, 另一个运动方向的接触器就不可能得电 (如图 1-16 所

示)。这个辅助常闭触点常称为“互锁”触点。

使用此电路,可以人工控制小车做往复运动。如果生产工艺要求小车自动往复运动,那么,只要在 A、B 两点添加两个位置检测装置即可。假设在 A、B 两点分别加装行程开关或接近开关,而每个行程开关至少有一对常开和常闭触点。把这些触点添加到控制电路中即得到了能控制小车自动往复运动的控制电路,如图 1-17 所示,图中 ST_1 和 ST_2 为行程开关。假设小车原来停在 A、B 之间的某一点上。

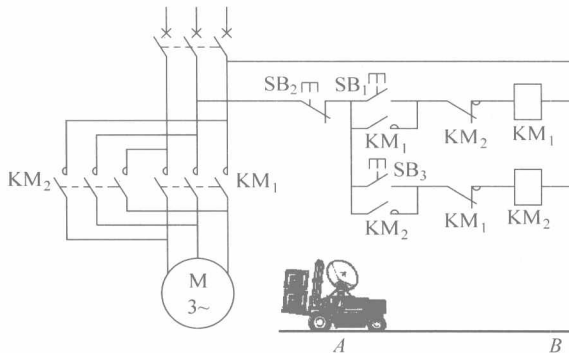


图 1-16 第五次添加功能过程

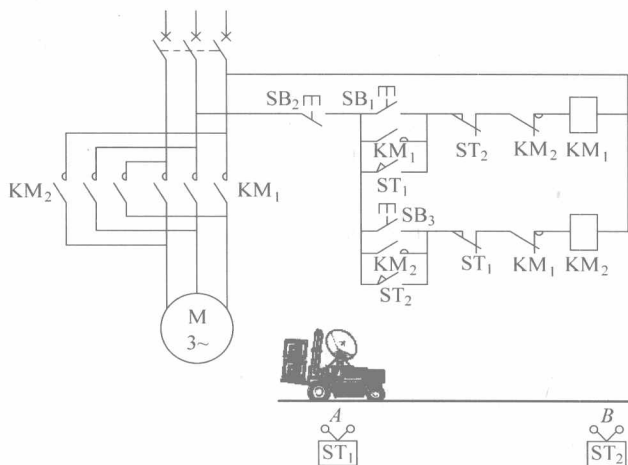


图 1-17 第六次添加功能过程

当 SB_1 闭合→ KM_1 得电,使主电路触点闭合→电动机正转→小车向右运行;同时,控制电路触点闭合和断开→维持电动机正转和避免 KM_2 得电。

当小车压动 B 点行程开关 ST_2 之后, KM_1 失电, KM_2 得电,使主电路触点闭合→电动机反转→小车向左运行;同时,控制电路触点闭合和断开→维持电动机反转和避免 KM_1 得电。

只要不按停止按钮,小车一直做往复运动。图 1-17 所示电路原理虽然正确,但还不能投入实际运行,因为任何一个物体都有惯性,当小车从 A 点运行到 B 点时小车压动行程开关 ST_2 , KM_1 立即失电, KM_2 立即得电,由于惯性,小车不可能立即停止,电动机还在惯性的作用下正转。但是在 KM_1 失电的同时, KM_2 已经得电,造成定、转子间的相对速度过大而烧坏电动机。为此需在控制电路增加延长反向得电的时间继电器(如图 1-18 所示),这

样,当小车压动行程开关 ST_2 ,经过一段时间的延时, KM_2 才能得电(延时时间的大小由现场调试决定),避免了立即反向过流,烧坏电动机。投入实际运行还应考虑主电路和控制电路有短路保护的功能,如图 1-19 所示。

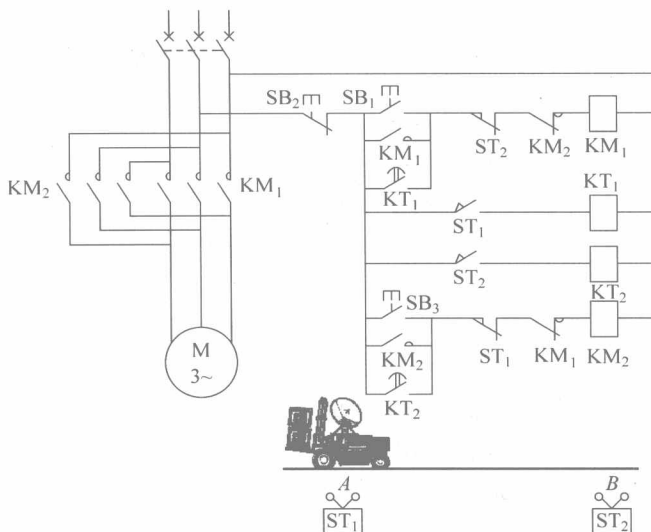


图 1-18 第七次添加功能过程

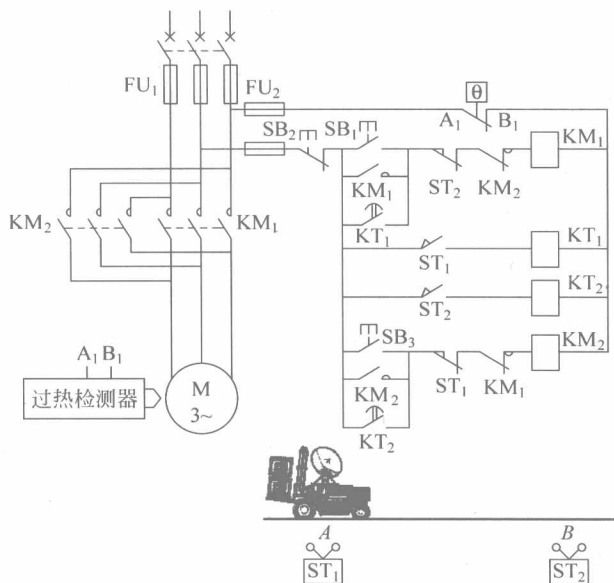


图 1-19 第八次添加功能过程

当主电路或控制电路出现短路故障时,快速熔断器 FU_1 或 FU_2 迅速熔断,避免了故障的扩大,从而保护未发生故障的器件。在图 1-19 中还增加了电动机过热检测元件,当电动机由于某种原因引起过热时,例如电动机的冷却系统出现故障,串接在控制电路中的过热检测元件的常闭触点 A_1-B_1 就会自动断开。过热检测器动作值的大小由实际情况决定。

随着各种问题的解决,运动控制线路逐渐完善起来。每增加一种功能,原运动控制线路