

Technology  
实用技术

# 电气控制

## — 技术及应用 —

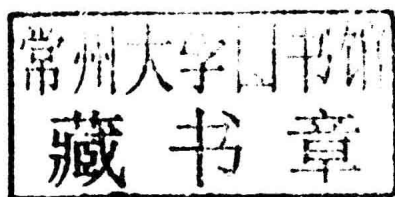
[印] S.K.Bhattacharya Brijinder Singh 著  
陶国彬 张秀艳 任爽 张庆生 译



科学出版社

# 电气控制技术的应用

[印] S. K. Bhattacharya Brijinder Singh 著  
陶国彬 张秀艳 任 爽 张庆生 译



科学出版社

北京

图字：01-2012-1131 号

## 内 容 简 介

本书内容共包括三个主要部分,第一部分讨论了利用继电器和定时器进行电动机控制的方法;第二部分讨论了由数字器件实现的固态控制技术;第三部分介绍了利用可编程逻辑控制器控制机械设备的方法,同时重点介绍了 PLC 的结构和梯形图逻辑语言编程方法。

本书可作为各大中院校电气自动化等相关专业师生的参考用书,也可作为相关专业工程训练的辅助用书,同时对于即将走上工作岗位的学生而言,本书同样具有重要的参考价值。

**Control of Machine, 2<sup>nd</sup> edition by S K Bhattacharya, Brijinder Singh.**

Copyright © 2006, 1996 by New Age International (P) Ltd. Publishers. Published in arrangement with New Age International (P) Ltd, Publisher, New Delhi, India. www.newagepublishers.com.

### 图书在版编目(CIP)数据

电气控制技术及应用/(印)S K Bhattacharya, Brijinder Singh 著;  
陶国彬等译. —北京:科学出版社,2012

· ISBN 978-7-03-033555-5

I. 电… II. ①S…②B…③陶… III. 电气控制 IV. TM921.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 024933 号

责任编辑:孙力维 杨 凯 / 责任制作:董立颖 魏 谨

责任印制:赵德静 / 封面设计:赵志远

北京东方科龙图文有限公司 制作

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

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2012 年 4 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2012 年 4 月第一次印刷 印张: 22 3/4

印数: 1—4000 字数: 440 000

定 价: 46.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

# 前 言

本书为满足“利用电磁继电器、静态开关设备和可编程控制器控制电动机”课程的授课要求而编写,可作为本、专科学生的专业课程教材,也可作为相关专业工程训练的辅助教材。对于即将走上工作岗位的学生而言,本书同样具有重要的借鉴价值。

电动机和其他机械装置的电气控制技术源于继电器、定时器和接触器等各种控制装置的发明。20世纪60年代,可编程控制器在工业中得到广泛的应用。尽管在印度该技术引入的较晚,但目前印度工业也正在飞速向可编程机械控制领域转变。本书将介绍三种控制装置,介绍的重点放在继电器的电磁控制方面,这是因为尽管固态控制装置和可编程控制器变得越来越普及,但由于继电器逻辑控制装置控制方法简单,并且将长期应用在独立电动机和机械设备的控制应用中,因此,学习和掌握继电器控制逻辑对于电气工程师而言是十分必要的,是电气工程师熟练掌握控制逻辑电路设计的基础。

本书的第一部分讨论了利用继电器和定时器进行电动机控制的方法,这里对各种不同类型器件的结构和工作原理进行了详细的说明,并建议学生利用各器件制造商发布的产品目录进行深入学习。控制器件所采用的描述符号符合印度的标准。各种不同类型交、直流电动机的启动器在这部分进行了详细的介绍。第一部分的重点和精华在于对大量实际工业应用的典型控制电路的解释说明,值得读者深入研读。

各种设备特性所需的不同控制过程以及各种控制电路的工作原理在此一一介绍,尤其是其中的控制电路。通过对控制电路的深入研究,读者在处理实际工业应用中类似的控制线路时将更有信心。除此之外,还有部分章节讨论了电动机保护和故障检修等问题。

本书的第二部分讨论了由数字器件实现的固态控制技术。现代控制系统采用集成电路元件设计,这类控制系统对对抗各种复杂控制工况的不利环境影响十分有效,尤其适用于高速操作控制应用领域。在这一部分中,梯形图和数字器件的USAUI符号被广泛应用,这与工业应用符号一致。为了使读者更加容易掌握和熟练使用各种符号,除了BIS所定义的符号外,相应的替代符号也被用于表示各种控制器件。除了采用常规方式讨论和分析电路外,书中还讨论了大量的工业应用电路。

本书的最后一部分介绍了可编程逻辑控制器控制机械设备的方法,同时重点

介绍了 PLC 的结构和梯形图逻辑语言编程方法。

我们希望本书可以对工科院校的教师和学生有所裨益,诚请各位读者提出宝贵修改意见。

最后,感谢我们的同事和各技术院校的教师们,是你们的支持和鼓励使我们以极大热情来完成本书的撰写工作,同时感谢新世纪国际出版公司为本书的出版发行所做出的巨大贡献。

S K Bhattacharya

Brijinder Singh

# 目 录

<b>第 1 章</b>	<b>机械控制概述</b>	<b>1</b>
1.1	典型机械控制电路	1
1.2	手动控制的缺点	2
1.3	电磁控制概述	2
1.4	电磁控制的优点	5
1.5	现代机械的半自动控制 and 全自动控制	5
1.6	控制电路的构建	6
1.6.1	双线控制电路 and 三线控制电路的构建	6
1.6.2	电动机的远程操控	8
1.6.3	驱动互锁	10
	复习题	11
<b>第 2 章</b>	<b>控制电路器件</b>	<b>13</b>
2.1	概 述	13
2.2	熔断器、开关 and 熔断器开关单元	14
2.3	塑壳线路断路器和小型电路断路器	16
2.4	接触器	18
2.4.1	直动式接触器	18
2.4.2	拍合式接触器	19
2.4.3	闭锁式接触器	21
2.4.4	感应加速接触器	23
2.5	接触器的额定值	23
2.6	继电器	25
2.6.1	电压继电器	26
2.6.2	电流串联继电器	27
2.6.3	频率继电器	28
2.6.4	闭锁继电器	29
2.7	过载继电器	31
2.7.1	双金属片式热过载继电器	31

2.7.2 棘轮式共晶合金继电器	33
2.7.3 磁缓冲式充油继电器	33
2.8 时间继电器(定时器)	35
2.8.1 热定时器	36
2.8.2 气动定时器	37
2.8.3 电动机驱动定时器	37
2.8.4 电子定时器	39
2.9 断相继电器(单相保护器)	41
2.10 按钮开关	42
2.11 选择开关	44
2.12 鼓形开关	45
2.13 限位开关	46
2.13.1 简单限位开关	46
2.13.2 旋转凸轮型限位开关	48
2.13.3 重载限位开关	49
2.13.4 速度驱动感应开关	49
2.14 电磁阀	50
2.15 压力开关	52
2.16 压力传感器	53
2.17 温度开关(恒温器)	54
2.18 浮子开关	55
2.19 控制变压器	57
2.20 元件符号	59
2.21 控制线路图	61
复习题	64

## 第 3 章 三相鼠笼式电动机启动器 67

3.1 概 述	67
3.1.1 启动和加速过程中的电动机电流	68
3.1.2 电动机的空载转速和额定转速	69
3.1.3 电动机启动	69
3.2 主电阻式启动器	71
3.2.1 手动主电阻式启动器	71
3.2.2 半自动无级电阻启动器	73
3.2.3 自动电阻启动器	73
3.3 分级电阻启动器	76

3.4	线路电抗降压启动器	78
3.5	自耦变压器降压启动器	79
3.5.1	手动自耦变压器启动器	81
3.5.2	自动自耦变压器启动器(开路换接)	81
3.5.3	自耦变压器降压启动器(闭路换接)	85
3.6	部分绕组降压启动器	87
3.6.1	两级启动	87
3.6.2	三级启动	89
3.7	$\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器	90
3.7.1	手动 $\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器	92
3.7.2	按钮操作手动 $\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器	92
3.7.3	半自动 $\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器	94
3.7.4	自动 $\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器(开路换接)	95
3.7.5	自动 $\Upsilon$ - $\Delta$ 启动器(闭路换接)	97
3.8	多速电动机启动器	100
3.8.1	双速双绕组(独立绕组)电动机启动器	102
3.8.2	双速单绕组(交替极)电动机启动器	104
3.9	感应电动机的反向旋转	106
3.10	电动机反接制动	108
3.11	能耗制动	109
	复习题	112
<b>第 4</b>	<b>章 绕线式感应电动机启动器</b>	<b>115</b>
4.1	概 述	115
4.2	电动机加速	117
4.3	手动面板启动器	119
4.4	使用主控制器的手动启动器	120
4.5	加速过程的自动控制	122
4.5.1	定时限制启动器	122
4.5.2	限流加速启动器	126
4.5.3	二次频率加速启动器	127
	复习题	129
<b>第 5</b>	<b>章 直流电动机启动器</b>	<b>131</b>
5.1	直流电动机种类及其应用	131
5.1.1	并励电动机	131



5.1.2 串励电动机 .....	132
5.1.3 复励电动机 .....	132
5.2 直流电动机加速原理 .....	133
5.3 直流电动机手动启动器 .....	136
5.3.1 两点式启动器 .....	136
5.3.2 三点式启动器 .....	136
5.3.3 四点式启动器 .....	137
5.4 自动加速启动器 .....	139
5.4.1 直接加速启动器 .....	139
5.4.2 限流加速启动器 .....	140
5.4.3 定时加速启动器 .....	144
5.5 直流电动机反转 .....	148
5.6 电动机点动运行 .....	150
5.7 电动机能耗制动 .....	152
5.8 直流电动机反接制动 .....	153
复习题 .....	155

## 第 6 章 单相电动机控制 ..... 157

6.1 单相电动机类型 .....	157
6.2 通用串励电动机 .....	158
6.2.1 通用电动机反转 .....	158
6.2.2 通用电动机转速控制 .....	160
6.3 隐极式感应电动机 .....	162
6.4 分相式感应电动机 .....	163
6.4.1 标准分相电动机 .....	164
6.4.2 电容型分相电动机 .....	165
6.4.3 电容型分相电动机启动器 .....	166
6.4.4 双电容电动机启动器 .....	166
6.4.5 使用电流继电器和自耦变压器的双电容电动机启动器 .....	167
6.4.6 分相电动机能耗制动 .....	168
6.4.7 电容启动分相电动机反接制动 .....	169
6.4.8 分相电动机转速控制 .....	170
6.4.9 固定分相电动机转速控制 .....	170
复习题 .....	172

<b>第 7 章</b>	<b>同步电动机控制</b> .....	<b>173</b>
7.1	同步电动机结构和工作原理 .....	173
7.2	手动按钮同步启动器 .....	174
7.3	定时半自动同步启动器 .....	175
7.4	使用极化场频率继电器的自动启动器 .....	175
	复习题 .....	178
<b>第 8 章</b>	<b>电动机保护</b> .....	<b>179</b>
8.1	交流电动机保护 .....	179
8.2	熔断器、过载继电器、接触器(断路器)工作特性 .....	179
8.3	过载、短路以及过热保护 .....	181
8.3.1	过载与短路保护 .....	181
8.3.2	过热保护 .....	183
8.3.3	欠压保护 .....	184
8.3.4	断相与反相保护 .....	185
8.4	直流电动机保护 .....	186
8.4.1	直流并励电动机的磁场失效保护电路 .....	186
8.4.2	磁场加速保护电路 .....	187
8.4.3	磁场减速保护电路 .....	189
	复习题 .....	191
<b>第 9 章</b>	<b>工业控制电路</b> .....	<b>193</b>
9.1	概 述 .....	193
9.2	刨 床 .....	193
9.3	料斗升降机控制 .....	196
9.4	水泵的自动控制 .....	198
9.5	起重电磁铁 .....	200
9.6	电热炉控制 .....	202
9.7	桥式吊车 .....	205
9.8	电动推车 .....	210
9.9	电动叉车 .....	213
9.10	空气压缩机 .....	216
9.11	游 梁 .....	219
9.12	传送系统 .....	224
9.13	电 梯 .....	230

复习题 .....	236
<b>第 10 章 控制电路故障排查 .....</b>	<b>239</b>
10.1 概 述 .....	239
10.2 常见故障 .....	240
10.2.1 熔断器 .....	240
10.2.2 接触不良 .....	240
10.2.3 触点故障 .....	242
10.2.4 导线标号错误 .....	242
10.2.5 综合性故障 .....	242
10.2.6 欠电压 .....	243
10.2.7 接地故障 .....	243
10.2.8 瞬时故障 .....	245
10.2.9 设备维护不到位 .....	245
10.3 故障排查的一般步骤 .....	245
复习题 .....	249
<b>第 11 章 机械装置的固态控制 .....</b>	<b>251</b>
11.1 概 述 .....	251
11.2 固态控制电路的优点 .....	253
11.3 固态控制电路的缺点 .....	254
11.4 几种常见的门电路 .....	255
11.4.1 与 门 .....	255
11.4.2 或 门 .....	255
11.4.3 非门(反相器) .....	257
11.4.4 或非门 .....	258
11.4.5 与非门 .....	258
11.4.6 异或门 .....	259
11.5 固态定时器 .....	259
11.6 存储型器件(非保持型) .....	261
11.6.1 同步 RS 触发器 .....	263
11.6.2 JK 触发器 .....	263
11.7 保持型存储器件 .....	265
11.8 逻辑电路的设计 .....	265
11.9 固态逻辑电路的输入器件 .....	269
11.9.1 电容开关滤波器 .....	270

11.9.2 去抖动电路 .....	270
11.9.3 信号转换器 .....	271
11.10 固态逻辑电路的输出器件 .....	273
11.11 电磁阀控制的汽缸活塞装置 .....	274
11.12 空调系统的三级控制 .....	276
11.13 绕线式感应电动机的速度控制 .....	277
11.14 门刨床的控制 .....	279
11.15 三级传送系统的控制 .....	282
11.16 移位寄存器 .....	284
11.17 采用移位寄存器控制的传送系统 .....	286
11.18 计数器 .....	287
11.19 译码器 .....	288
11.20 采用计数器和译码器的退火炉铸件加载控制系统 .....	289
11.21 单稳触发器 .....	292
11.22 时钟脉冲发生器 .....	292
11.23 自动填料系统 .....	293
11.24 减法计数器 .....	296
11.25 编码器 .....	296
11.26 产品配送系统 .....	298
复习题 .....	300

## 第 12 章 可编程逻辑控制器 .....

303

12.1 概 述 .....	303
12.2 输入/输出单元 .....	306
12.2.1 固定 I/O .....	306
12.2.2 I/O 模块 .....	307
12.3 离散输入模块 .....	309
12.3.1 交流离散输入模块 .....	309
12.3.2 直流离散输入模块 .....	310
12.4 离散输出模块 .....	311
12.4.1 交流输出模块 .....	312
12.4.2 直流输出模块 .....	312
12.4.3 输出模块的额定值 .....	313
12.5 模拟 I/O 模块 .....	314
12.6 安全电路 .....	316
12.7 处理器单元 .....	316

12.7.1	内部自诊断系统 .....	319
12.7.2	存储器类型 .....	320
12.7.3	输入映像表 .....	321
12.7.4	输出映像表 .....	321
12.7.5	用户程序存储器 .....	322
12.7.6	变量存储器 .....	322
12.8	编程设备 .....	323
12.8.1	专用台式编程器 .....	323
12.8.2	手持式编程器 .....	324
12.8.3	计算机编程器 .....	324
12.8.4	使用个人计算机编程的优点 .....	325
12.8.5	使用个人计算机编程的缺点 .....	326
12.9	PLC编程基础 .....	326
12.9.1	简介 .....	326
12.9.2	实际部件与程序模块 .....	327
12.9.3	检查是否闭合(Examine ON)指令 .....	330
12.9.4	检查是否断开(Examine OFF)指令 .....	330
12.9.5	内部继电器指令 .....	330
12.9.6	闭锁指令 .....	330
12.9.7	输出指令 .....	331
12.9.8	编程停止按钮 .....	331
12.9.9	逻辑保持指令与独立保持触点 .....	332
12.9.10	过载触点 .....	333
12.9.11	主控制继电器指令 .....	334
12.9.12	分支打开和分支闭合指令 .....	336
12.9.13	定时器指令 .....	337
12.9.14	计数器指令 .....	340
12.9.15	定序器指令 .....	342
12.9.16	通过时间驱动的输出定序器指令的基本工作过程 .....	344
12.10	简单编程实例 .....	345
12.10.1	混砂机 .....	345
12.10.2	继电器梯形逻辑图 .....	346
12.10.3	混砂机的PLC梯形图程序 .....	346
12.10.4	梯形图程序说明 .....	346
	复习题 .....	350

# 第 1 章

## 机械控制概述

### 1.1 典型机械控制电路

众所周知,机械设备由相互连接各个部件组成,通过运动实现能量的变换和传输,完成做功。机械设备不同部件的运动可以通过以下两种类型设备来驱动:

- (1) 电动机。
- (2) 压缩机(或泵)驱动的电磁阀和气缸活塞装置。

电动机的匀速转动可以通过安装在电动机转轴上的机架和齿轮组转换成直线机械运动。

在气缸活塞装置中,气压变成液压通过电磁阀控制作用在气缸活塞上,电磁阀由电磁线圈控制的机械阀组成,图 1.1 所示为气缸活塞装置机械部件直线往复运动的工作原理图,图中也标出了电磁阀的复位弹簧机构。

在图 1.1(a)中,电磁线圈断电,阀体端连接情况由箭头符号标记。端口 A 与排气管连接,而端口 B 与储气罐连接,储气罐中存储着高压气体,与活塞连接的机械部件保持在当前位置,这是因为气体压力作用在活塞的右侧。

当电磁线圈通电时,卷轴移入阀体,此时,阀体端口的连接情况如图 1.1(b)所示,端口 A 与储气罐连接,而端口 B 与排气管连接,在左侧空气压力的作用下,活塞向前移动到储气罐最右端。在该机构中,电动机既可以驱动空气压缩机也可以驱动泵(使用液体时),形成气压或液压。由此可知,电动机是各种机械设备的核心部件,无论电动机是直接还是间接驱动设备,在本书中,重点内容就是介绍和讨论电动机的控制问题。同时,在许多控制电路中,电磁阀将被取代。下面将进一步讨论电动机的控制方法。

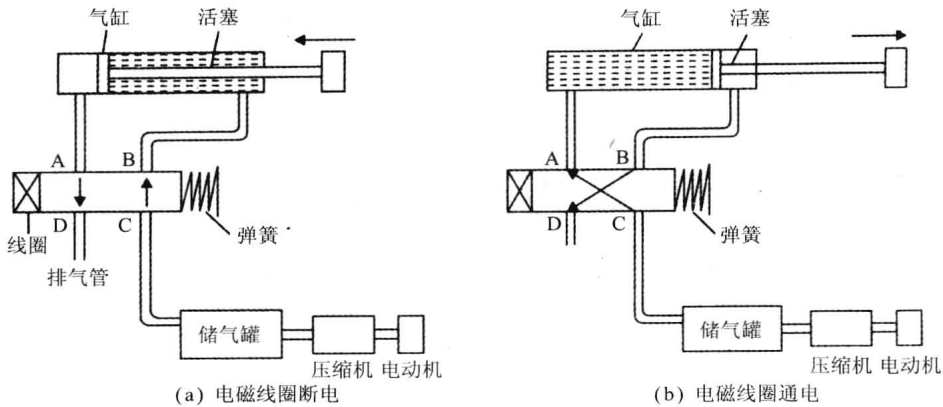


图 1.1 电磁阀工作原理

## 1.2 手动控制的缺点

在电动机使用之初,通常手动控制电动机的启动和停止,唯一的保护器件就是熔断器,在随后的改进过程中,始终是沿着提高电动机手动开关的可靠性、灵活性以及通断特性的方向发展。当时,使用大型电动机通过皮带轮机构驱动动力主轴,然后由主轴驱动各个单独的负载,这种采用共主轴驱动和电动机手动开关的控制方式存在许多缺点,具体如下所述:

- (1) 电动机的启动、停止和转速控制必须通过手动控制实现,操作人员必须手动操作开关设备进行切换。
- (2) 大型电动机的开关切换十分费力。
- (3) 操作人员必须时刻留意指示器的变化,根据驱动要求的变化调整电动机的工作特性。
- (4) 在共主轴传动机构中,无法满足各机械设备的不同工况需要,例如,频繁启停、周期性正反转、大启动转矩、恒速运行、变速运行等。

## 1.3 电磁控制概述

由于共主轴传动方式存在诸多缺点,因此采用小型电动机控制单个机械装置,来替代共主轴传动机构中的大型电动机成为必然。对于不同机械装置使用独立的电动机进行驱动控制,为机械制造厂家和销售商提供更多的灵活性。

电磁接触器和电磁继电器的引入使得实现机械装置的各种不同控制需求成为可能。电磁接触器和电磁继电器利用电磁铁原理工作,只需给接触器和继电器的执行机构加入较小的电流就能实现主触点大电流的通断控制。控制的含义在于管理和调节。对于电动机的控制是指调节和管理电动机的不同工作方式,例如,启

动、加速、正反转、调速、保护等。图 1.2 所示为小型鼠笼式感应电动机的手动控制和电磁控制接线图。

在简单的手动控制中,操作人员通过闭合主开关实现电动机启动,电动机的保护设备仅为熔断器,具体控制线路如图 1.2(a)所示。在图 1.2(b)所示的线路中,电动机通过电磁接触器控制通断,在我们讨论电路的工作原理之前,有必要先了解一下电磁接触器的工作原理,在第 2 章将详细介绍各种不同类型的接触器。

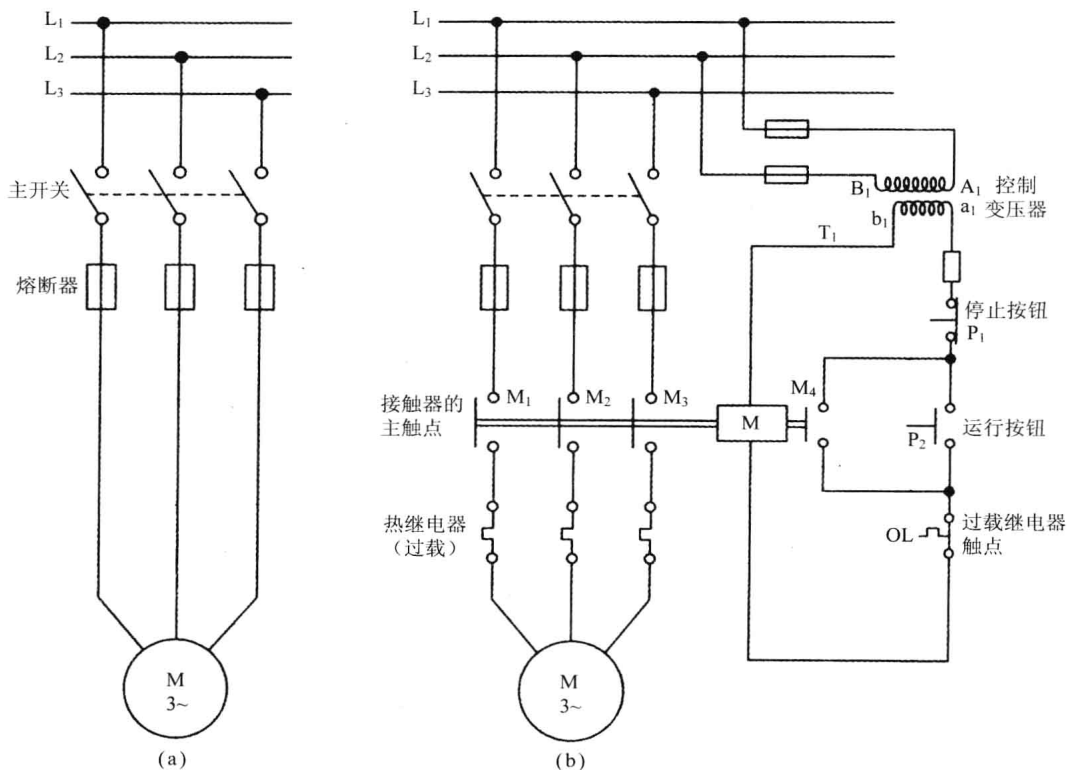


图 1.2 小型鼠笼式感应电动机的手动控制和电磁控制接线图

图 1.3 所示为电磁接触器的工作原理,在图 1.3 中,可以看到,线圈绕制在固定的铁心上,而触点则安装在可以移动的铁心上,称为衔铁。如图 1.3(a)所示,当线圈处于断电状态时,触点保持当前位置不动。在弹簧(s)的作用下,主触点和辅助触点的位置如图所示。在图 1.3(b)中,接触器处于通电状态。一旦接触器线圈通电,衔铁(即可移动铁心)克服弹簧力向固定铁心方向吸合,触点位置随之变化,常开主触点闭合。同样,辅助触点也改变位置,常开触点闭合,而常闭触点断开。主触点则用于通断电动机的电源,而辅助触点用于控制电路通断,当线圈再次断电时,衔铁在弹簧力的作用下回到初始位置。

现在,让我们回过头来重新讨论图 1.2(b)所示的电动机启动电路。在该图



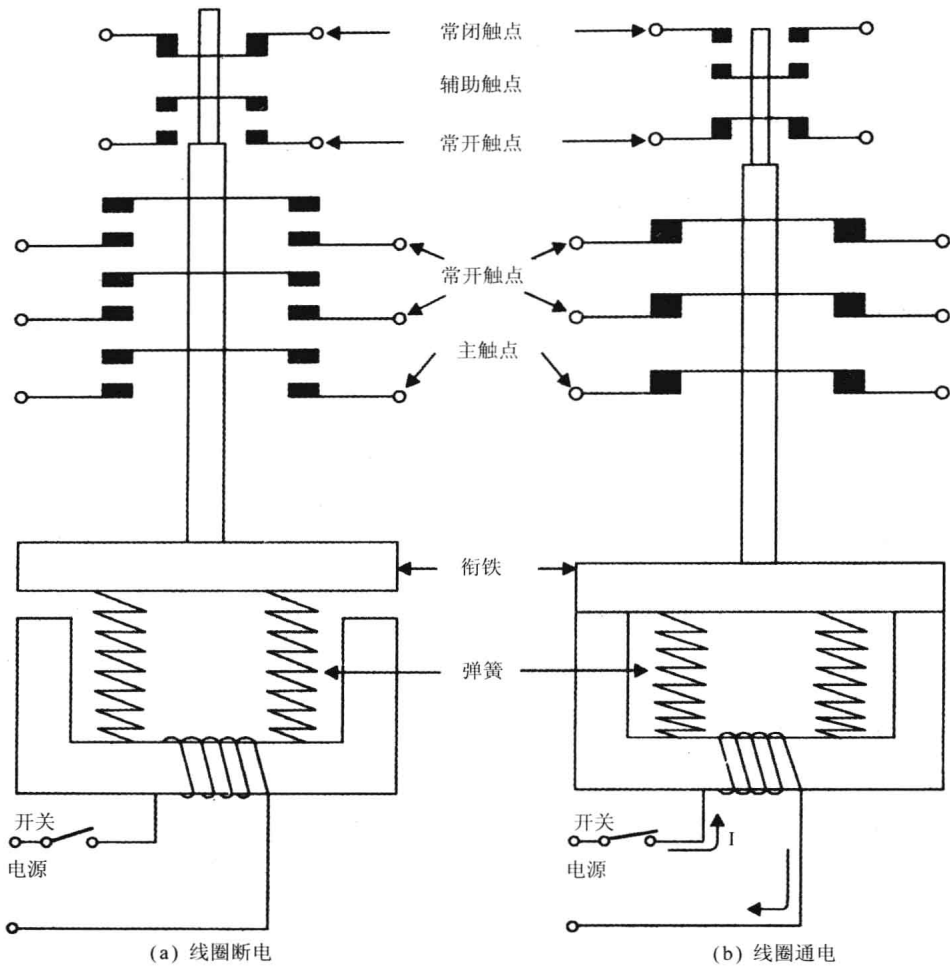


图 1.3 电磁接触器的工作原理

中,有两个相对独立的电路:电源电路和控制电路。控制电路的电源通过控制变压器  $T_1$  与主电源隔离,也可以直接采用相电压为控制电路供电,可以通过按钮控制电动机运行和停止。按钮开关只需很小的力就可以使其触点动作。在按下时,按钮开关触点保持导通,但一旦松开按压按钮的手指,按钮开关的触点将返回初始位置。

在该电路中,当按下运行按钮时,触点  $P_2$  闭合,而控制变压器二次侧的  $a_1$  端冷触点  $P_1$  (停止按钮)、 $P_2$  (运行按钮)和过载继电器触点  $OL$  连接到接触器线圈的一端,接触器线圈的另一端则直接连接到变压器的  $b_1$  端,接触器线圈通电,接触器的主触点  $M_1$ 、 $M_2$ 、 $M_3$ 和辅助触点  $M_4$ 闭合。辅助触点  $M_4$ 的闭合形成运行按钮触点  $P_2$ 的旁通回路,此时,松开按压运行按钮的手指,运行按钮触点  $P_2$ 断开,但通过并联在  $P_2$ 两端的闭合触点  $M_4$ ,电源与接触器线圈仍然导通,触点  $M_4$ 被称