



高等职业技术教育机电类专业规划教材

# 电器控制与可编程控制器 应用技术

张迎辉 邓松 编



机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

赠 电子 课件

高等职业技术教育机电类专业规划教材

# 电器控制与可编程控制器 应用技术

张迎辉 邓 松 编



543895

广西工学院鹿山学院图书馆



d543895

机械工业出版社

本书同时介绍电器控制与可编程序控制器应用,共分三篇7章,第一篇共2章,介绍了低压电器基本知识,电器控制中的电气工程图及分析方法,常用电器控制电路及所使用电器的工作原理,电器元件的选用、接线方法和电路的检测方法。第二篇共4章,介绍了FX系列可编程序控制器的基本单元及其指令系统和应用;第三篇共1章,介绍了可编程序控制器的扩展模块,包括A-D、D-A模块、适配器及其应用。

本教材强调通过项目训练来强化对FX<sub>2N</sub>、FX<sub>3U</sub>及其控制系统的理解和应用,共安排了29个实训项目,具有由浅入深、由单一到综合、循序渐进、前后呼应、注重应用等特点。其中,电器控制项目5个,逻辑指令训练项目9个,顺序控制指令训练项目6个,功能指令应用训练项目4个,综合应用训练项目5个。

本书可作为应用性本科院校、高职高专院校电气自动化技术、机电一体化技术、生产过程自动化技术、计算机控制技术、建筑电气、楼宇智能化等专业教材,同时也可以作为专业技术人员的技术参考书籍。

为方便教学,本书配有电子课件、模拟试卷及习题解答等,凡选用本书作为授课教材的学校,均可来电免费索取。咨询电话:010-88379375; Email: cmpgaozhi@sina.com。

## 图书在版编目(CIP)数据

电器控制与可编程序控制器应用技术/张迎辉,邓松编. —北京:机械工业出版社,2011.7

高等职业技术教育机电类专业规划教材  
ISBN 978-7-111-34485-8

I. ①电… II. ①张…②邓… III. ①电气控制-高等职业教育-教材  
②可编程序控制器-高等职业教育-教材 IV. ①TM571.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第117749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:于宁 责任编辑:于宁

版式设计:霍永明 责任校对:张晓蓉

封面设计:鞠杨 责任印制:乔宇

三河市宏达印刷有限公司印刷

2011年7月第1版第1次印刷

184mm×260mm·20.75印张·577千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-34485-8

定价:38.00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

社服务中心:(010) 88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010) 68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010) 88379649

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

# 前 言

电器控制是指用单一功能的控制电器组合实现各种控制，它是近代工业和现代工业中应用最普遍、涉及领域最多的工业控制方式，具有操作使用简单、价格低廉等特点。而可编程序控制器作为一种新型的通用工业自动化控制装置，也已广泛地应用在工业控制领域中。早期的可编程序控制器主要用于取代比较复杂的电器控制，实现逻辑控制功能，但随着可编程序控制技术、计算机技术、电子技术、信息技术的不断发展，其功能已远远超出了电器控制的控制范畴。它能很方便地实现逻辑控制、数据运算、数据处理、过程控制、定位控制、通信控制等，是现代工业中不可或缺的控制器件。

本书同时介绍了电器控制与可编程序控制器控制，通过电器控制的学习，学生可以掌握传统的电器控制的原理、逻辑分析方法和接线实训操作，同时也为可编程序控制器的学习打下基础。在可编程序控制中介绍了三菱小型机功能最强大的 FX<sub>3U</sub> PLC 和应用最广泛的 FX<sub>2N</sub> PLC 的综合应用。FX<sub>3U</sub> 与其他 FX 系列 PLC 相比，其变址应用、数据处理、位操作等功能更强大，运算速度更快，支持的扩展特殊功能模块/单元更多，操作更方便，并增加了大量的指令系统，如浮点数指令、三角函数指令、随机数指令、字符串处理指令、与变频器通信的指令以及文件寄存器的操作指令等，这些指令使可编程序控制器的应用领域更广阔，控制更精细，程序编写更灵活，比早期的 PLC 在应用上具有更大的优势。由于 FX<sub>3U</sub> 具有向下兼容的特点，初学者也通过本书的学习，全面系统地了解三菱系列 PLC 的指令系统和运用方法。

本书贯彻以就业为导向、以能力培养为核心、以技能训练为载体、注重工学结合的指导思想，根据企业实际需求和 PLC 技术的发展进行内容的选取。遵循由浅入深、循序渐进的认知规律，其内容丰富、案例典型、可操作性强，通过大量操作性训练，使学生在不断解决新问题中，学习知识、应用知识、巩固知识，达到举一反三、进而全面提高 PLC 综合应用的能力。通过综合实训项目的练习，使学生掌握面向对象的 PLC 的综合运用，可直接应用到生产实践中，这是本教材的特色之一。所有的实训项目都只给出控制要求，由学生来完成操作，同时在项目中给出知识面相近的事例程序供学生参考，避免实验时学生照搬照抄的现象，只有部分较复杂的控制，直接给出答案，作为验证性的项目。

本书第一篇由张迎辉编写，第二篇由邓松编写，第三篇由邓松、张迎辉共同编写，张迎辉负责本书大纲的制定，邓松负责统稿，阮友德负责全书的审稿。本书的作者及主审都是具有丰富的教学经验和实践经验的教授、高级实验师、工程师，较好地將科学性、实用性和易学性相结合，体现了技能训练的特点，书中内容深入浅出、简单明了，理论知识全面，重点更突出。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免出现错误，欢迎读者批评指正，联系电话：0755-26731267，电子邮箱：ds1210@szpt.edu.cn，对您提出的宝贵意见表示感谢！

编 者



# 目 录

## 前言

## 第一篇 电器控制

第1章 常用低压电器及控制线路	1
1.1 概述	1
1.1.1 低压电器基本知识	1
1.1.2 电气工程图	2
1.1.3 电器控制电路的分析方法	4
1.2 电动机直接起动控制电路	6
1.2.1 低压断路器直接控制电动机运行	6
1.2.2 点动及单向连续运转控制	10
1.2.3 顺序控制	16
1.2.4 正反转控制及行程控制	19
1.3 电动机减压起动控制电路	22
1.3.1 星形-三角形减压起动	22
1.3.2 定子串电阻减压起动	25
1.3.3 定子串自耦变压器减压起动	25
1.3.4 绕线转子电动机串频敏 变阻器起动	27
1.3.5 软起动控制电路	28
1.4 异步电动机的制动控制电路	28
1.4.1 反接制动	29
1.4.2 能耗制动	30
1.5 异步电动机的调速控制电路	31
1.5.1 双速电动机的控制	31
1.5.2 三速电动机的控制	32
1.5.3 变频调速	34
1.6 直流电动机的控制电路	35
1.7 电器控制应用训练	37
项目一 电动机单向连续运转控制	37
项目二 电动机正反转控制	40
项目三 电动机自动顺序控制	41
项目四 电动机Y/ $\Delta$ 起动控制	43
项目五 电动机能耗制动控制	45
习题一	46
第2章 其他常用电器	47
2.1 开关电器	47
2.1.1 刀开关和负荷开关	47
2.1.2 剩余电流断路器	48

2.1.3 接近开关	49
2.2 继电器	50
2.2.1 温度继电器	51
2.2.2 固态继电器	51
2.2.3 光电继电器	52
2.2.4 断相与相序保护继电器	53
2.2.5 电子式液位继电器	53
2.2.6 信号继电器	53
2.2.7 接触式继电器	53
2.2.8 交直流电流继电器	54
2.3 其他电器	54
习题二	55

## 第二篇 可编程序控制器基本单元

第3章 常用可编程序控制器及 基本单元	56
3.1 可编程序控制器概述	56
3.1.1 可编程序控制器的分类及 技术性能指标	56
3.1.2 可编程序控制器的基本原理	57
3.1.3 PLC的编程语言	58
3.2 三菱FX <sub>3U</sub> 、FX <sub>2N</sub> 系列PLC基本单元	59
3.2.1 FX <sub>3U</sub> 基本单元	59
3.2.2 FX <sub>2N</sub> 基本单元	60
3.2.3 基本单元的组成及结构	60
3.3 FX <sub>3U</sub> 和FX <sub>2N</sub> 系列PLC的软元件	64
习题三	70
第4章 FX <sub>3U</sub> 和FX <sub>2N</sub> 逻辑指令及 应用	71
4.1 逻辑指令	71
4.1.1 触点类指令	72
4.1.2 执行类指令	74
4.1.3 结合类指令	75
4.1.4 主控指令MC和MCR	80
4.1.5 其他指令	81
4.2 逻辑指令编程的基本规则	82
4.3 基本程序的编写	83
4.4 GX Developer编程软件	87
4.5 逻辑指令的应用	93

项目六 电动机的正反转控制 .....	93	6.17 数据块处理指令 .....	226
项目七 三速电动机的控制 (一) .....	94	6.18 字符串处理指令 .....	228
项目八 电动机的星形-三角形启动 控制 .....	95	6.19 数据表处理指令 .....	234
项目九 电动机的自动正反转控制 (一) .....	96	6.20 比较触点指令 .....	236
项目十 电动机的顺序控制 (一) .....	97	6.21 数据处理指令 (三) .....	240
项目十一 指示灯控制 (一) .....	98	6.22 变频器通信指令 .....	245
项目十二 数码管控制 (一) .....	101	6.23 数据传送指令 (三) .....	248
项目十三 气动控制阀的控制 (一) .....	102	6.24 高速处理指令 (二) .....	250
项目十四 简易三层电梯的控制 (一) ...	105	6.25 扩展文件寄存器控制指令 .....	251
习题四 .....	107	6.26 功能指令使用规则 .....	254
<b>第 5 章 顺序控制指令及其应用</b> .....	110	6.27 功能指令应用 .....	255
5.1 顺序控制指令 .....	110	项目二十一 数码管自动/手动控制 .....	255
5.2 顺序控制指令的基本规则 .....	113	项目二十二 十字路口交通灯的控制 (二) .....	256
5.3 用 GX Developer 编写 SFC 程序 .....	114	项目二十三 8 位小车控制 .....	258
5.4 顺序控制指令的应用 .....	119	项目二十四 步进电动机控制 .....	260
项目十五 三速电动机的控制 (二) .....	119	习题六 .....	265
项目十六 电动机的自动正反转 控制 (二) .....	120		
项目十七 电动机的顺序控制 (二) .....	121		
项目十八 洗衣机的控制 .....	122		
项目十九 十字路口交通灯的控制 (一) .....	122		
项目二十 气动控制阀的控制 (三) .....	124		
习题五 .....	126		
<b>第 6 章 功能指令及应用</b> .....	128		
6.1 程序流程类指令 .....	129		
6.2 数据比较指令与数据传送指令 (一) .....	135		
6.3 算术与逻辑运算指令 .....	142		
6.4 循环与移位指令 .....	147		
6.5 数据处理指令 (一) .....	152		
6.6 高速处理指令 (一) .....	158		
6.7 方便指令 .....	165		
6.8 外部设备 I/O 指令 .....	175		
6.9 外部设备 SER 指令 .....	184		
6.10 数据传送指令 (二) .....	192		
6.11 浮点运算指令 .....	194		
6.12 数据处理指令 (二) .....	206		
6.13 定位控制指令 .....	211		
6.14 时钟运算指令 .....	216		
6.15 外部设备指令 .....	220		
6.16 其他指令 .....	222		
		<b>第三篇 FX 系列 PLC 特殊功能单元及其应用</b>	
		<b>第 7 章 模拟量处理模块及通信 模块 (板)</b> .....	267
		7.1 FX <sub>0N</sub> -3A .....	267
		7.2 FX <sub>2N</sub> -2DA .....	269
		7.3 FX <sub>2N</sub> -5A .....	271
		7.4 FX <sub>2N</sub> -4AD .....	274
		7.5 FX <sub>2N</sub> -4AD-PT .....	278
		7.6 FX <sub>3U</sub> -4AD .....	281
		7.7 FX <sub>3U</sub> -4AD-ADP .....	282
		7.8 FX <sub>3U</sub> -4DA .....	284
		7.9 FX <sub>3U</sub> -4DA-ADP .....	287
		7.10 FX <sub>3U</sub> -485-BD 和 FX <sub>3U</sub> -485-ADP .....	288
		7.11 FX <sub>2N</sub> -16CCL 和 FX <sub>2N</sub> -32CCL .....	291
		7.12 PLC 模拟量处理模块应用 .....	298
		项目二十五 FX <sub>0N</sub> -3A 模拟量输入 应用 .....	298
		项目二十六 风机运行控制 (FX <sub>2N</sub> -4AD-PT 应用) .....	300
		项目二十七 空气压缩机运行控制 (FX <sub>3U</sub> -4AD 应用) .....	301
		项目二十八 模拟输出控制 (FX <sub>3U</sub> -4DA 应用) .....	303
		项目二十九 冷库控制 (FX <sub>3U</sub> - 4AD-ADP 应用) .....	305



## 第1章 常用低压电器及控制电路

凡是根据外界特定的信号和要求,自动或手动接通或断开电路,断续或连续地改变电路参数,实现对电路的切换、控制、保护、检测及调节的器件均称为电器。电器控制则是由电器元件按照一定的控制要求连接而成的控制系统。电器控制设备及电器元件可以按不同的需要组成各种各样的电器控制线路。本章将介绍电气工程图的读图方法以及典型的基本控制电路和所使用的电器元件。

### 1.1 概述

#### 1.1.1 低压电器基本知识

我国现行标准将工作在交流 1200V、直流 1500V 及以下电路中的电器称为低压电器。低压电器种类繁多,它作为基本元器件已广泛用于发电厂、变电所、工矿企业、交通运输和国防工业等电力输配电系统和电力拖动控制系统中。

##### 1. 低压电器的分类

低压电器的品种、规格很多,作用、构造及工作原理各不相同,因而有多种分类方法。

(1) 按用途分 低压电器按它在电路中所处的地位和作用可分为控制电器和配电电器两大类。控制电器是指用于各种控制电路和控制系统中的电器,包括接触器、主令电器、继电器等;配电电器是指正常或事故状态下接通和断开用电设备和供电电网所用的电器,包括各类开关、断路器、熔断器等。

(2) 按动作方式分 低压电器按它的动作方式可分为自动切换电器和非自动切换电器。前者是依靠本身参数的变化或外来信号的作用,自动完成接通或分断等动作,如接触器、继电器等;后者主要是用手动操作来进行切换,如刀开关、按钮和万能转换开关等。

(3) 按有无触头分 低压电器按它有无触头可分为有触头电器和无触头电器两大类。有触头电器有动触头和静触头之分,利用触头的合与分来实现电路的通与断。无触头电器没有触头,主要利用晶体管的开关效应,即导通或截止来实现电路的通断。

(4) 按工作原理分 按工作原理可分为电磁式电器和非电量控制电器。

电磁式电器由电磁机构控制电器动作,电磁式电器由感测和执行两部分组成。感测部分(电磁机构)接受外界输入的信号,使执行部分动作,实现控制的目的;执行部分即触头系统。

非电量控制电器由非电磁力控制电器触头动作。

##### 2. 低压电器的主要技术数据

为保证电器设备安全可靠地工作,国家对低压电器的设计、制造规定了严格的标准,合格的

电器产品具有国家标准规定的技术要求。在使用电器元件时,必须按照产品说明书中规定的技术条件选用。低压电器的主要技术指标有以下几项。

(1) 额定电流 额定电流包括额定工作电流、额定发热电流、额定封闭发热电流和额定持续电流。额定工作电流是指在规定条件下,保证开关电器正常工作的电流值。额定发热电流是指在规定条件下,电器处于非封闭状态,开关电器在八小时工作制下,各部件温升不超过极限值时所能承载的最大电流。额定封闭发热电流是指在规定条件下,电器处于封闭状态,在所规定的最小外壳内,开关电器在八小时工作制下,各部件的温升不超过极限值时所能承载的最大电流。额定持续电流是指规定的条件下,开关电器在长期工作制下,各部件的温升不超过规定极限值时所能承载的最大电流值。

(2) 额定电压 额定电压包括额定工作电压、额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压。额定工作电压是指在规定条件下,保证电器正常工作的电压值;额定绝缘电压是指在规定条件下,用来度量电器及其部件的绝缘强度、电气间隙和漏电距离的标称电压值,除非另有规定,一般额定绝缘电压为电器最大额定工作电压;额定脉冲耐受电压是反映电器当其所在系统发生最大过电压时所能耐受的能力。额定绝缘电压和额定脉冲耐受电压共同决定绝缘水平。

(3) 绝缘强度 绝缘强度是指电器元件的触头处于分断状态时,动静头之间耐受的电压值(无击穿或闪络现象)。

(4) 耐潮湿性能 指保证电器可靠工作的允许环境潮湿条件。

(5) 极限允许温升 电器的导电部件通过电流时将引起发热和温升,极限允许温升是指为了防止过度氧化和烧熔而规定的最高温升值(温升值=测得实际温度-环境温度)。

(6) 操作频率及通电持续率 开关电器每小时内可能实现的最高操作循环次数称为操作频率。通电持续率是电器工作于断续周期工作制时负载时间与工作周期之比,通常以百分数表示。

(7) 机械寿命和电气寿命

机械开关电器在需要修理或更换机械零件前所能承受的无载操作次数称为机械寿命。在正常工作条件下,机械开关电器无需修理或更换零件的负载操作次数称为电寿命。

对于有触头的电器,其触头在工作中除机械磨损外,尚有比机械磨损更为严重的电磨损。因而,电器的电寿命一般小于其机械寿命。设计电器时,要求其电寿命为机械寿命的20%~50%。

本书在介绍控制电路的同时介绍电器,部分电器在第2章介绍。

## 1.1.2 电气工程图

为了表示电器控制系统的组成结构、工作原理及安装、调试、维修等技术要求,使其具有可读性和通用性,需要用统一的工程语言(即工程图)来表达,常用的电气工程图有3种,即电路图(电气系统图、原理图)、接线图和元器件布置图。电气工程图是根据国家电气制图标准,用规定的图形符号、文字符号以及规定的制图方法绘制而成的。


### 1. 图形符号和文字符号

我国在结合本国实际情况、并与国际接轨的思想指导下,借鉴国际电工委员会及一些工业发达国家的电工标准,先后制定了GB/T 4728.1~B—2005~2008《电气简图用图形符号》、GB/T 6988—1997《电气技术用文件的编制》、GB/T 7159—1987《电气技术中的文字符号制定通则》等标准,并在逐渐完善和修订。现行电工标准目录包括电工国家标准(GB)、行业(专业)标准(ZBK)、部标准(JB)和部指导性文件(JB/Z)。其中GB为强制性标准,GB/T为推荐性标准。

(1) 图形符号 图形符号由符号要素、限定符号、一般符号以及常用的非电操作控制的操作符号(如机械控制符号等)根据不同的具体器件情况组合构成,表1-1为限定符号或操作符号与一般符号组合成各种类型的图形符号举例。



表 1-1 限定符号或操作符号与一般符号组成各种类型的图形符号

限定符号及操作符号		组合符号举例	
图形符号	说明	图形符号	说明
	接触器功能		接触器触头
	限位开关、位置开关功能		限位开关触头
	紧急开关（蘑菇头按钮）		急停开关
	旋转按钮		旋转开关
	热器件操作		热继电器触头
	接近效应操作件		接近开关
	延时动作		时间继电器触头

更多的图形符号见附录 A。

(2) 文字符号 基本文字符号、单字母符号和双字母符号表示电气设备、装置和元器件的分类，如 K 表示继电器类元件这一大类；双字母符号由一个表示大类的单字母与另一表示器件某些特性的字母组成，例如 KA 表示继电器类元件中的中间继电器（或电流继电器），KT 表示时间继电器。

(3) 辅助文字符号 辅助文字符号用来进一步表示电气设备、装置和元器件的功能、状态和特征。

## 2. 电路图

电路图用来表达电路、设备、电器控制系统的组成部分和连接关系。通过电路图，可详细地了解电路、设备、电器控制系统的组成及工作原理，并可在测试和故障寻找时提供足够的信息，同时电路图也是编制接线图的重要依据，电路图习惯上也称为电气原理图。

(1) 电路图的绘制 电路一般包括主电路和控制电路。主电路是设备的驱动电路，在控制电路的控制下，根据控制要求由电源向用电设备供电。控制电路由接触器和继电器线圈以及各种电器的动合、动断触头组合构成控制逻辑，实现所需要的控制功能。主电路、控制电路和其他辅助电路、保护电路一起构成电器控制系统。

(2) 元器件的绘制 电路图中所有电器元件一般不画出实际的外形图，而是采用国家标准规定的图形符号和文字符号表示。同一电器的各个部件可根据需要画在不同的地方，但必须用相同的文字符号标注。电路图中所有电器元件的可动部分通常表示为该电器在非激励或不工作时的状态和位置。常见的器件状态如下：

- 1) 继电器和接触器的线圈处在非激励状态。
- 2) 断路器和隔离开关处于断开位置。
- 3) 零位操作的手动控制开关在零位状态，不带零位的手动控制开关在图中规定位置。
- 4) 机械操作开关和按钮在非工作状态或不受力状态。

5) 保护类元器件处在设备正常工作状态，特殊情况应在图上说明。

6) 继电器、接触器的常开触头在断开位置，常闭触头在闭合位置。

(3) 图区和触头位置索引 电路图通常采用分区的方式建立坐标，以便于阅读查找。电路图常采用在图的下方沿横坐标方向划分的方式，并用数字标明图区，如图 1-1 所示，同时在图的上方沿横坐标方向划区，分别标明该区电路的功能。触头位置索引一般标在接触器或继电器线圈下端（右端）。

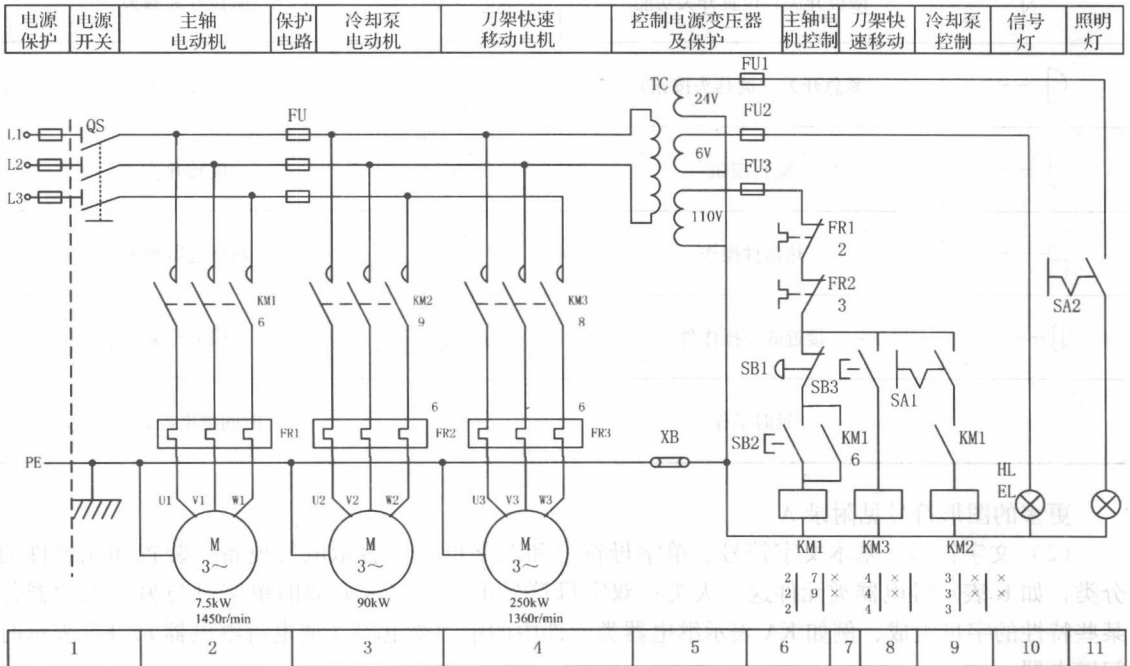


图 1-1 某车床的电气原理图

(4) 电路图中技术数据的标注 电路图中元器件的参数和型号（如热继电器动作电流和整定值的标注、导线截面积等）可用小号字体标注在电器代号的下面。

### 3. 电器元件布置图

电器元件布置图主要是表明机械设备上所有电器设备和电器元件的实际位置，是电器控制设备制造、安装和维修必不可少的技术文件。

### 4. 接线图

接线图主要用于安装接线、电路检查、电路维修和故障处理。它表示设备电控系统各单元和各元器件间的接线关系，并标注出所需数据，如接线端子号、连接导线参数等。实际应用中通常与电路图和位置图一起使用。

## 1.1.3 电器控制电路的分析方法

在了解清楚机械设备及电器设备的构成、工作原理、相互关系以及控制要求等基本条件信息之后，即可对电器控制电路进行具体的分析。

分析电器控制电路时，通常要结合有关技术资料，将控制电路“化整为零”，即以某一电动机或电器元件（如接触器或继电器线圈）为对象，从电源开始，自上而下，自左而右，逐一分析其接通及断开的条件关系（逻辑关系条件），并区分出主令信号、联锁条件和保护要求等。按照图区标注的检索，可以方便地分析出各控制条件与输出的因果关系。常用的分析电气线路图的

方法有两种,即查线读图法和逻辑代数法。

### 1. 查线读图法

查线读图法又称为直接读图法或跟踪追击法。查线读图法是按照电器控制电路图,根据生产过程的工作步骤依次读图,一般按照以下步骤进行。

(1) 了解生产工艺与执行电器的关系 在分析电气线路之前,应该熟悉生产机械的工艺流程,充分了解生产机械要完成哪些动作,这些动作之间又有什么联系;然后进一步明确生产机械工作过程与执行电器的关系,必要时可以画出简单的工艺流程图,为分析电气线路的工作原理提供方便。

(2) 分析主电路 因为主电路一般要容易些,首先弄清楚主电路的特点,控制的电动机(或其他电器)的类型,采用的起动方法、保护方式,以及它们之间的动作关系,有无换向、调速和制动要求等。

(3) 分析控制电路 一般情况下控制电路要比主电路复杂一些。如果是简单的控制电路,可根据主电路中各电动机(或其他电器)的控制要求,逐一找出控制电路中的控制环节,即可分析其工作原理,从而掌握其动作情况;如果是复杂的控制电路,一般可以将控制电路分成几部分来分析,采取“化整为零”的方法,分成一些基本的、熟悉的单元电路,然后对各单元电路进行综合分析,最后得出其动作情况。

(4) 分析辅助电路 辅助电路主要作为电源显示、工作状态显示、照明和故障报警显示等,大多由控制电路中的元件来控制,所以,对辅助电路进行分析也是很有必要的。

(5) 分析联锁和保护环节 电气控制系统对于安全性和可靠性有很高的要求,为了实现这些要求,除了合理地选择拖动和控制方案外,在控制电路中还设置了一系列电气保护和必要的电气联锁,这些联锁和保护环节也必须弄清楚。

(6) 总体检查 经过“化整为零”的局部分析,逐步分析了每一个局部电路的工作原理以及各部分之间的控制关系之后,还必须用“集零为整”的方法,检查整个控制电路,看是否有遗漏,特别要从整体角度去进一步分析和理解各控制环节之间的联系,以理解电路中每个电气元件的工作过程。

查线读图法的优点是直观性强,容易掌握,因而得到广泛采用。其缺点是分析复杂电路时容易出错,读图时需要较多的语句才能描述清楚。

### 2. 逻辑代数法

逻辑代数法又称为间接读图法,是通过对电路的逻辑表达式的运算来分析电路的,其关键是正确写出电路的逻辑表达式。

(1) 电器元件的逻辑表示 当电器控制系统由开关量元件构成时,电路状态可用逻辑表达式的方式描述出来。通常对电器触头作如下规定:

1) 用  $KM$ 、 $KA$ 、 $SQ$ …等分别表示接触器、继电器、行程开关等电器的动合(常开)触头,用  $\overline{KM}$ 、 $\overline{KA}$ 、 $\overline{SQ}$ …等表示动断(常闭)触头。

2) 触头闭合时,逻辑状态为“1”;触头断开时,逻辑状态为“0”;线圈通电时状态为“1”;断电时状态为“0”。

常用的表达方式如下:

① 线圈状态:  $KM = 1$  表示接触器线圈处于通电状态;  $KM = 0$  表示接触器线圈处于断电状态。

② 触头处于非激励或非工作的状态:  $KM = 0$  表示接触器的常开触头状态;  $\overline{KM} = 1$  表示接触器的常闭触头状态;  $SB = 0$  表示常开按钮触头状态;  $\overline{SB} = 1$  表示常闭按钮触头状态。

③ 触头处于激励或工作的状态:  $KM = 1$  表示接触器的常开触头状态;  $\overline{KM} = 0$  表示接触器的常闭触头状态;  $SB = 1$  表示常开按钮触头状态;  $\overline{SB} = 0$  表示常闭按钮触头状态。

(2) 电路状态的逻辑表示 电路中触头的串联关系可用逻辑“与”即逻辑乘( $\cdot$ )关系表达;触头的并联关系可用逻辑“或”即逻辑加( $+$ )的关系表达。图1-2为某起动控制电路中接

触器 KM 线圈的逻辑表达式，可写成： $f(KM) = \overline{SB1} \cdot (SB2 + KM)$ 。线圈 KM 的通断由停止按钮 SB1、起动按钮 SB2 和自锁触头 KM 控制。SB1 为线圈 KM 的停止条件，SB2 为起动条件，触头 KM 则具有记忆自保功能。

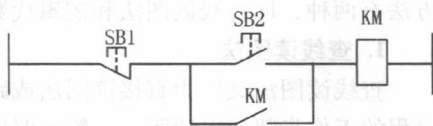


图 1-2 起动控制电路

逻辑代数法读图的优点是各电气元件之间的联系和制约关系在逻辑表达式中一目了然，通过对逻辑函数的运算，一般不会遗漏或看错电路的控制功能，而且为电气线路的计算机辅助分析提供方便。用逻辑代数法读图的主要缺点是，对于复杂的电路，其逻辑表达式很繁锁。

## 1.2 电动机直接起动控制电路

三相笼型异步电动机由于结构简单、价格便宜、坚固耐用等优点得到了广泛的应用。在实际生产中，它的使用率在 80% 以上。三相笼型异步电动机的控制电路大都由继电器、接触器和按钮等有触头的电器组成，本节介绍电动机直接起动控制电路。

电动机通电后由静止状态逐渐加速到稳定运行状态的过程称为电动机的起动，三相笼型异步电动机的起动有减压和全压起动两种方式。若将额定电压全部加到电动机定子绕组上，使电动机起动，则称为全压起动或直接起动。全压起动所用的电气设备少，电路简单，但起动电流大，会使电网电压降低而影响同一电网下其他用电设备的稳定运行。因此，容量小的电动机才允许采取直接起动。

### 1.2.1 低压断路器直接控制电动机运行

用低压断路器直接控制电动机运行的电路如图 1-3 所示。

#### 1. 电路中的电器

在用低压断路器直接控制电动机运行的电路中，其控制电路由低压断路器和电动机组成。

(1) 低压断路器 低压断路器俗称空气开关，可用来分配电能和不频繁地起动电动机，并可对供电线路及电动机等进行保护。当电路中发生严重的过载、短路、欠电压等故障时能自动切断电路，而且在切断电路后一般不需要更换零件，因而获得了广泛应用。低压断路器按其用途可分为：配电线路保护类、电动机保护类、照明线路保护类、漏电保护类等几种；按动作时间可分为一般型和快速型；按结构可分为框架式（万能式 DW 系列）和塑料外壳式（装置式 DZ 系列）。其实物图如图 1-4 所示。图形和文字符号见附录 A。

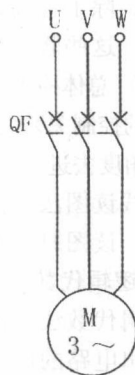


图 1-3 用低压断路器直接控制电动机运行

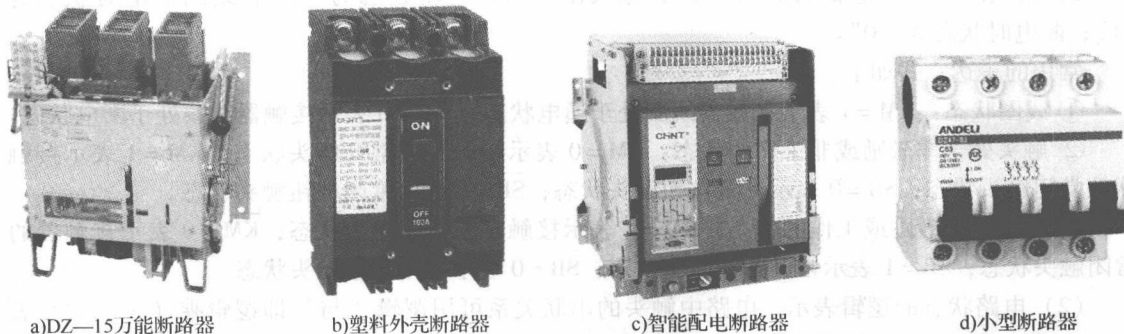


图 1-4 各类断路器

1) 低压断路器的结构。低压断路器主要由触头系统、灭弧装置、保护装置和操作机构等组成。低压断路器的触头系统一般由主触头、弧触头和辅助触头组成。灭弧装置采用栅片灭弧,其灭弧栅一般由长短不同的钢片交叉组成,放置在绝缘材料的灭弧室内。保护装置由各类脱扣器(过电流、失电及热脱扣器等)构成,以实现短路、失电压、过载等保护功能。低压断路器有较完善的保护装置,但构造复杂、价格较贵,维修麻烦。

2) 低压断路器的工作原理。低压断路器的工作原理如图1-5所示。图中低压断路器的3副主触头串联在被保护的三相主电路中,由于搭钩钩住弹簧,使主触头保持闭合状态。当电路正常工作时,电磁脱扣器中线圈所产生的吸力不能将它的衔铁吸合。当电路发生短路时,电流急剧增加,电磁脱扣器的吸力增加,将衔铁吸合,并撞击杠杆,把搭钩顶上去,在弹簧的作用下切断主触头,实现了短路保护。当电路上电压下降或失去电压时,欠电压脱扣器的吸力减小或失去吸力,衔铁被弹簧拉开,撞击杠杆,把搭钩顶开,切断主触头,实现了失电压保护。当电路过载时,热脱扣器的双金属片受热弯曲,也把搭钩顶开,切断主触头,实现了过载保护。

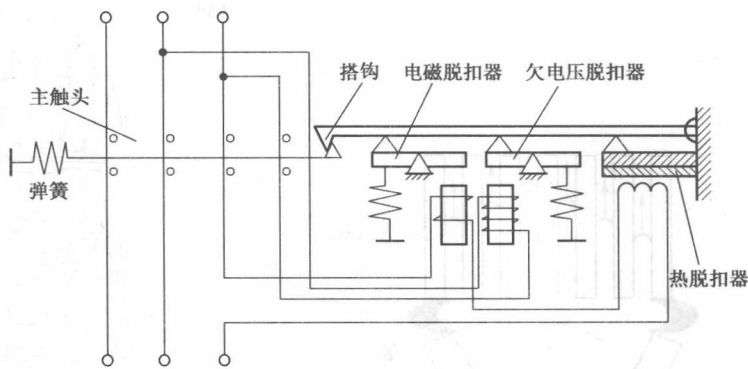


图 1-5 低压断路器工作原理

3) 灭弧装置。断路器和后面讲的接触器等触头类电器都有灭弧装置,该装置在电器设备工作中具有熄灭电弧或缩短电弧发生的时间的作用。

① 电弧的产生。当动、静触头分开的瞬间,两触头间距极小,电场强度极大,在高热及强电场的作用下,金属内部的自由电子从阴极表面逸出,奔向阳极,这些自由电子在电场中运动时撞击中性气体分子,使之激励和游离,产生正离子和电子,这些电子在强电场作用下继续向阳极移动,同时撞击其他中性分子,因此,在触头间缝中产生了大量的带电粒子,使气体导电形成了炽热的电子流即电弧。电弧产生高温并有强光,可将触头烧损,并使电路的切断时间延长,严重时可引起事故或火灾。

② 电弧的分类。电弧分直流电弧和交流电弧,交流电弧有自然过零点,故其较易熄灭。

③ 灭弧的方法有如下几种:

机械灭弧:通过机械将电弧迅速拉长,用于开关电路。

磁吹灭弧:在一个与触头串联的磁吹线圈产生的磁力作用下,电弧被拉长且被吹入由固体介质构成的灭弧罩内,电弧被冷却熄灭。

窄缝灭弧:在电弧形成的磁场力、电场力的作用下,将电弧拉长进入灭弧罩的窄缝中,使其分成数段并迅速熄灭,如图1-6所示,该方式主要用于交流接触器中。

栅片灭弧:当触头分开时,产生的电弧在电场力的作用下被推入一组金属栅片而被分成数段,彼此绝缘的金属片相当于电极,因而就有许多阴阳极电压降,对交流电弧来说,在电弧过零时使电弧无法维持而熄灭,图1-7所示为金属栅片灭弧示意图。

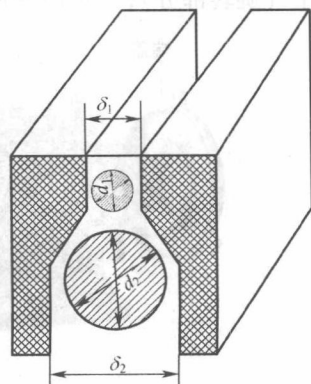


图 1-6 窄缝灭弧室的断面

4) 常用的低压断路器。目前,常用的低压断路器有塑壳式断路



器和框架式断路器。塑壳式断路器是低压配电线路及电动机控制和保护中的一种重要的开关电器，图 1-3 所示控制电路中即选用塑壳式断路器。其常用型号有 DZ5 和 DZ10 系列。DZ5-20 表示额定电流为 20A 的 DZ5 系列塑壳式低压断路器，如图 1-8 所示。

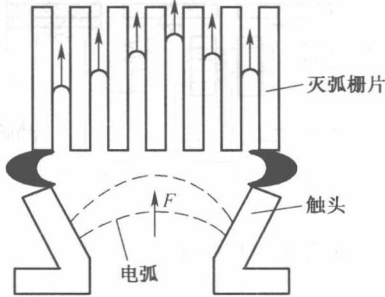


图 1-7 金属栅片灭弧示意图

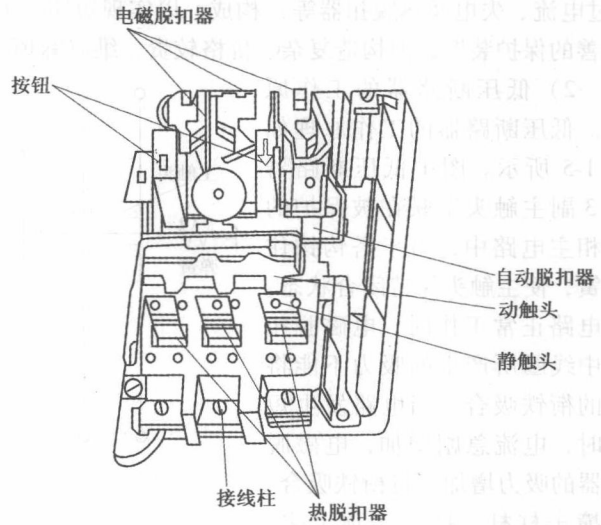


图 1-8 DZ5-20 型低压断路器内部结构

框架式断路器常见型号有 DW10、DW4、DW7 等系列。其主要用于配电系统中，目前在工厂、企业最常用的是 DW10 系列，它的额定电压为交流 380V、直流 440V，额定电流有 200A、400A、600A、1 000A、1 500A、2 500A 及 4 000A 共 7 个等级。操作方式有直接手柄式杠杆操作、电磁铁操作和电动机操作等，其中 2 500A 和 4 000A 需要的操作力太大，所以只能用电动机来代替人工操作。DZ 系列低压断路器的动作时间小于 0.02s，DW 系列低压断路器的动作时间大于 0.02s。

5) 低压断路器的选型。低压断路器的选型要求如下：

- a) 额定电压不小于安装地点电网的额定电压。
- b) 额定电流不小于长期通过的最大负荷电流。
- c) 极数和结构型式应符合安装条件、保护性能及操作方式的要求。

(2) 三相异步电动机 在拖动控制中 75% 的用电设备都是三相交流异步电动机。下面介绍三相异步电动机的结构、工作原理等方面的知识。

1) 三相异步电动机的结构。三相异步电动机分为两个基本部分，即定子（固定部分）和转子（旋转部分），如图 1-9 所示。

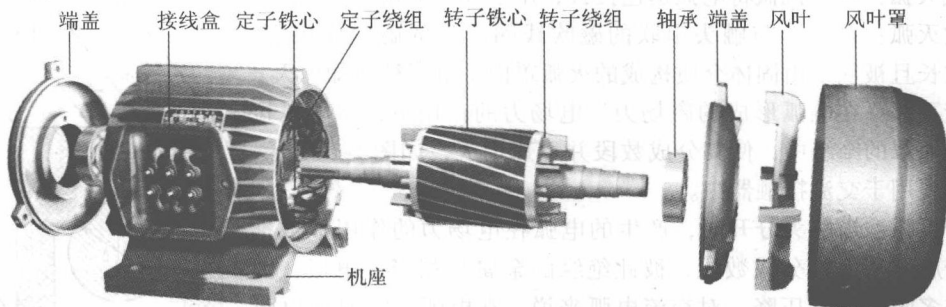


图 1-9 三相异步电动机的构造

① 定子。三相异步电动机的定子由机座（铸铁或铸钢制成）、圆筒形铁心（由互相绝缘的硅钢片或非晶带材叠成）以及嵌放在铁心内的三相对称定子绕组组成。

② 转子。根据构造上的不同，三相异步电动机的转子可分为两种型号，即笼型和绕线转子。

笼型转子绕组做成鼠笼状，就是在转子铁心的槽中嵌入铜条，其两端用端环连接，或者在槽中浇铸铝液，其外形像一个鼠笼，如图 1-10 所示。由于其构造简单，价格低廉、工作可靠、使用方便而被广泛应用。

绕线转子异步电动机的构造如图 1-11 所示，它的转子绕组同定子绕组一样，也是三相的，一般连成星形。每相的始端连接在 3 个铜制的集电环上，集电环固定在转轴上，在环上用弹簧压着碳质电刷。起动电阻和调速电阻是借助于电刷与集电环和转子绕组连接的。

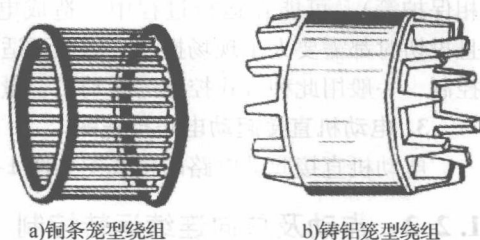


图 1-10 笼型转子

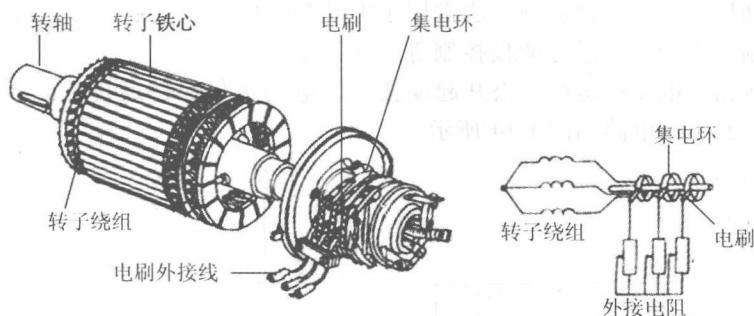


图 1-11 绕线转子异步电动机的构造

2) 三相异步电动机的工作原理。三相异步电动机的工作原理如下：三相交流电通入定子绕组，产生旋转磁场，磁力线切割转子导条使导条两端出现感应电动势，闭合的导条中便有感应电流流过。在感应电流与旋转磁场相互作用下，转子导条受到电磁力作用并形成电磁转矩，从而使转子转动。

3) 定子绕组的接法。定子绕组的接法是指定子中三相绕组（ $U_1U_2$ 、 $V_1V_2$ 、 $W_1W_2$ ）始末端（首尾端）的连接方法。如果  $U_1$ 、 $V_1$ 、 $W_1$  分别为三相绕组的始端（头），则  $U_2$ 、 $V_2$ 、 $W_2$  是相应的末端（尾）。笼型电动机的接线盒中有三相绕组的 6 个引出线端，可有星形（ $Y$ ）联结和三角形（ $\Delta$ ）联结两种接法，如图 1-12 所示。通常  $3\text{kW}$  以下的三相异步电动机连成星形， $4\text{kW}$  及以上的连成三角形。

## 2. 电动机直接起动电路工作原理

图 1-3 所示电路是只有主电路、没有控制电路的电路。当合上低压断路器  $QF$  时，电动机接通三相电源，电动机定子产生旋转磁场，并拖动转子旋转；当断

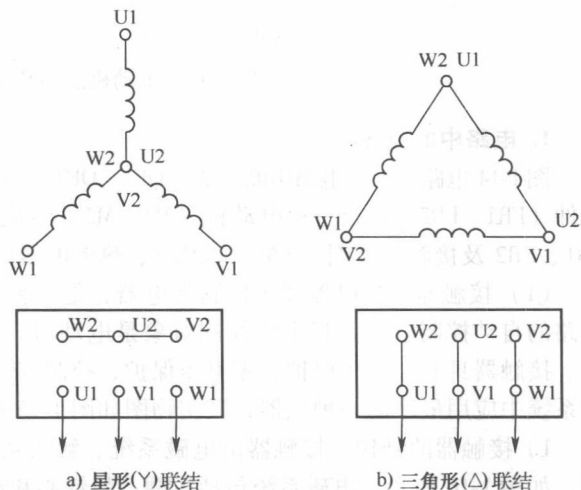


图 1-12 定子绕组的星形（ $Y$ ）联结和三角形（ $\Delta$ ）联结

开 QF 时，电动机失电，电动机惯性旋转后自动停机。

应当注意，本电路采用低压断路器直接起动、停止电动机，因电路中没有任何电动机的保护装置（如热保护、缺相保护等），可能在运行过程中会造成电动机的意外损害，且投切时都需要人工现场操作，因此不适合大型的电动机的控制，一般用此种方式控制的电动机容量不大于 3kW。

### 3. 电动机直接起动电路接线图

电动机直接起动电路的接线图如图 1-13 所示。

## 1.2.2 点动及单向连续运转控制

点动控制电路和连续运行控制电路是用按钮、接触器来控制电动机运行的最简单的控制电路。

所谓点动控制，是指当按下按钮时，电动机运行；松开按钮时，电动机停止。这种控制方法常用于电动葫芦的起重电动机控制和机床上的手动调校控制等。连续运行是指当按下起动按钮，电动机运行，松开起动按钮，电动机仍保持运行状态；按停止按钮，电动机停止运转。其控制电路如图 1-14 所示。

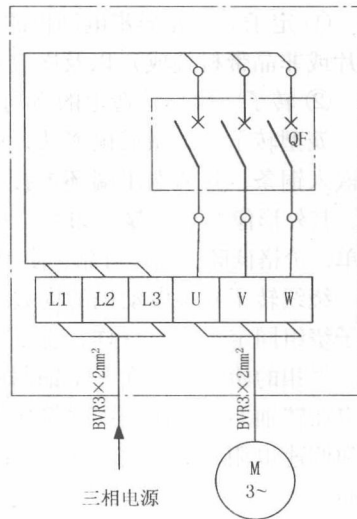


图 1-13 电动机直接起动电路接线图

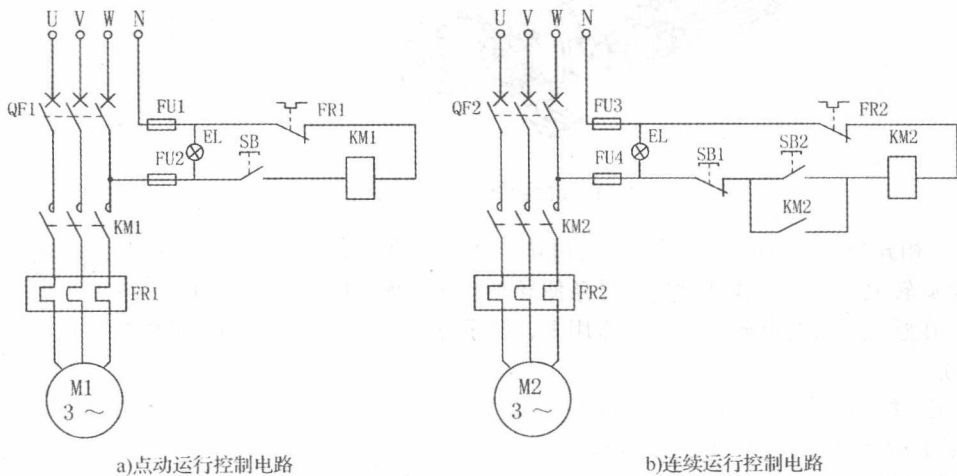


图 1-14 电动机点动及连续运行控制电路

### 1. 电路中的电器

图 1-14 电路中，主电路由断路器（QF1、QF2）、交流接触器主触头（KM1、KM2）、热继电器的热元件（FR1、FR2）以及三相电动机（M1、M2）组成。控制电路中有熔断器 FU1、FU2、按钮 SB、SB1、SB2 及接触器线圈（KM1、KM2）、热继电器触头（FR1、FR2）。

(1) 接触器 接触器属于控制类电器，是一种适用于远距离频繁接通和分断主电路和控制电路的自动控制电器。其主要控制对象是电动机，也可用于其他电力负载，如电热器、电焊机等。接触器具有欠电压保护、零电压保护、控制容量大、工作可靠、寿命长等优点，它是自动控制系统中应用最多的一种电器，其实物图如图 1-15 所示。

1) 接触器的结构。接触器由电磁系统、触头系统、灭弧系统、释放弹簧及基座等几部分组成，如图 1-16 所示。电磁系统包括线圈、静铁心和动铁心（衔铁）；触头系统包括用于接通、切断主电路的主触头和用于控制电路中的辅助触头；灭弧装置用于迅速切断主触头断开时产生的电