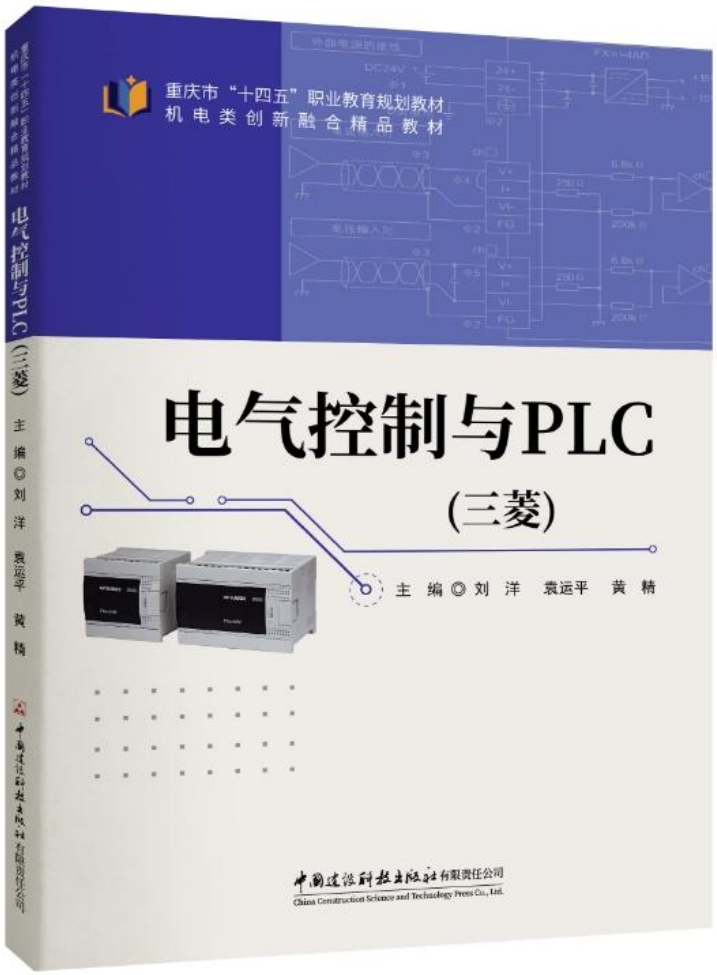
电气控制与 PLC（三菱）



类目：机电类
书名：电气控制与 PLC（三菱）
主编：刘洋 袁运平 黄精
出版社：中国建设科技出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5160-4389-9
使用层次：通用
出版时间：2025 年 8 月
定价：59.80 元
印刷方式：双色
是否有资源：有

项目统筹：李亚博
责任编辑：汪永涛
封面设计：旗语书装

电气控制与PLC
(三菱)

开门出书·创造价值
专·精·志·远
编　辑　部：010-63567684
事业发展中心：010-63567692
网 上 书 店：www.jskjcbs.com
本社微信公众号　本社天猫旗舰店

ISBN 978-7-5160-4589-9
9 787516 043899 >
定价：59.80元

重庆市“十四五”职业教育规划教材
机电类创新融合精品教材

电气控制与PLC（三菱）

主编◎刘洋　袁运平　黄精

中国建筑科技出版社有限责任公司

重庆市“十四五”职业教育规划教材
机电类创新融合精品教材

电气控制与PLC
(三菱)



主编◎刘洋　袁运平　黄精

中国建筑科技出版社有限责任公司
China Construction Science and Technology Press Co., Ltd.

重庆市“十四五”职业教育规划教材
机电类创新融合精品教材

电气控制与 PLC

（三菱）



主　编◎刘　洋　　袁运平　　黄　精

中国建设科技出版社有限责任公司
China Construction Science and Technology Press Co., Ltd.
北　京

图书在版编目（CIP）数据

电气控制与 PLC ：三菱 / 刘洋，袁运平，黄精主编. 北京 ：中国建设科技出版社有限责任公司，2025.8.
（机电类创新融合精品规划教材“互联网+ ”教育改革新理念教材）. -- ISBN 978-7-5160-4389-9

Ⅰ. TM571.2；TM571.6

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2025T1415F 号

电气控制与 PLC：（三菱）

DIANQI KONGZHI YU PLC：（SANLING）

主　编　刘　洋　袁运平　黄　精

出版发行：中国建设科技出版社有限责任公司

地　　址：北京市西城区白纸坊东街 2 号院 6 号楼

邮　　编：100054

经　　销：全国各地新华书店

印　　刷：唐山唐文印刷有限公司

开　　本：889mm×1194mm　1/16

印　　张：18.5

字　　数：380 千字

版　　次：2025 年 8 月第 1 版

印　　次：2025 年 8 月第 1 次

定　　价：59.80 元

本社网址：www.jskjcbs.com，微信公众号：zgjskjcbs

请选用正版图书，采购、销售盗版图书属违法行为

版权专有，盗版必究。本社法律顾问：北京天驰君泰律师事务所，张杰律师

举报信箱：zhangjie@tiantailaw.com　　举报电话：（010）63567684

本书如有印装质量问题，由我社事业发展中心负责调换，联系电话：（010）63567692

编　委　会

主　编： 刘　洋　袁运平　黄　精

副主编： 潘开燕　王一喆　唐梦玉

刘生军　彭　涛　吕明华

沈　银　孔祥恒

前言 Preface

电气控制与 PLC 技术是一门将 PLC 技术与电气控制深度融合的专业课程，主要面向机电一体化技术、工业机器人技术以及电气自动化技术等专业。该课程兼具实践性与应用性，与实际生产活动紧密相连，是现代工业领域中不可或缺的一部分。无论是院校的学生还是生产一线的工程技术人员，掌握扎实的电气控制原理与先进的 PLC 编程技术，对于适应工业发展的需求至关重要。

本教材是笔者在长期教学实践和工程实践中的积累，并经过反复探索与课堂实践的磨砺，精心编撰而成。笔者力求通过本书培养学生的职业能力和职业素养，将其作为课程目标的核心要素，构建起一个“基础知识-应用能力-职业素养”三位一体的课程目标体系。通过学习本教材，学生不仅具备“入岗即上岗”的操作能力，还能具备创新与创业能力。确保学生在职业生涯中既能稳健起步，又能持续发展，还能勇于创新。

本教材编写遵循“基础知识够用、内容结构模块化、章节排序合理、案例应用突出”的原则，以必备的理论知识为基础，以专业核心能力的培养为目标主线。教材内容体现针对性，确保所学即所需；突出实用性，让所学知识能够直接服务于生产；突出先进性，紧跟行业前沿需求；尽量浅显，采用易于理解的方式，由浅入深、循序渐进地编排内容。

全书共分为 7 章，1、2 章聚焦于电气控制的基础知识，从常用低压电器的介绍到电动机及其基本控制电路的设计，力求让读者对电气控制系统的构成与工作原理有一个清晰的认识。这些基础知识是后续学习 PLC 技术不可或缺的基石。3～7 章则全面深入地讲解 PLC 知识。从 PLC 的产生背景、分类、特点及应用领域逐步深入到三菱 FX3U 系列 PLC 的具体介绍、基本组成、软元件及编程软件 GX Works2 的使用。在此基础上，重点讲解了 PLC 的基本逻辑指令、步进顺控指令以及功能指令的应用，并通过大量实例展示了如何将这些指令运用于实际编程中。此外，本书还详细阐述了如何将传统的接触器、继电器控制系统转换为 PLC 控制系统，这部分内容对于帮助传统电气控制人员快速掌握 PLC 技术，实现技能升级与转型具有重要意义。

本书在编写过程中得到了多位企业工程师和院校老师的指导与帮助，并提出许多中肯的意见和建议，同时也参考了部分互联网相关文献，在此一并向其作者表示衷心的感谢。由于笔者水平有限，书中难免有错漏或不妥之处，恳请各位读者给予批评指正。

编　者

2024 年 12 月

目录 Contents

1 常用低压电器 …… 1

1.1 低压电器常识 …… 2
1.2 开关电器 …… 4
1.3 主令电器 …… 9
1.4 熔断器 …… 13
1.5 接触器 …… 15
1.6 继电器 …… 18
1.7 其他新型电器 …… 25

2 电机及电气控制基本电路 …… 28

2.1 电气控制系统的组成及发展 …… 29
2.2 电动机 …… 30
2.3 电气图 …… 45
2.4 电动机基本电气控制线路 …… 49
2.5 电动机降压启动控制电路 …… 58
2.6 电动机制动控制电路 …… 61
2.7 电动机调速控制电路 …… 65
2.8 其他电机及基本控制电路 …… 69

3 PLC 的相关知识 …… 81

3.1 PLC 的产生及发展 …… 82
3.2 PLC 的分类 …… 83
3.3 PLC 的特点 …… 87
3.4 PLC 的应用领域及发展趋势 …… 88
3.5 FX 系列 PLC 概述 …… 90

4 PLC 及其编程软件 …… 98
4.1 PLC 的基本组成 …… 99
4.2 PLC 的工作方式 …… 103
4.3 PLC 的软元件系统和编程语言 …… 104
4.4 PLC 的编程器 …… 107
4.5 GX Works2 编程软件 …… 122
5 PLC 基本逻辑指令及其应用 …… 151
5.1 基本逻辑指令 …… 152
5.2 程序的执行过程 …… 160
5.3 常用基本电路的程序设计 …… 162
5.4 PLC 程序设计 …… 176
6 PLC 步进顺控指令及其应用 …… 195
6.1 状态转移图概述 …… 196
6.2 步进顺控指令及 SFC 编程方法 …… 205
6.3 单流程的程序设计 …… 209
6.4 选择性流程的程序设计 …… 213
6.5 并行性流程的程序设计 …… 220
6.6 用辅助继电器实现顺序控制的程序设计 …… 228
7 PLC 功能指令及其应用 …… 238
7.1 功能指令概述及基本规则 …… 239
7.2 常用功能指令 …… 250
7.3 功能指令程序设计 …… 278
参考文献 …… 286

1 常用低压电器

知识目标

1. 了解低压电器的定义和基本常识。
2. 掌握开关电器的种类、原理和用途。
3. 熟悉主令电器的特点、应用和分类。
4. 了解熔断器的原理、分类和用途。
5. 掌握接触器的结构、工作原理和选用方法。
6. 熟悉继电器的原理、分类和应用。
7. 了解其他新型电器的特点和应用。

能力目标

1. 能够正确选择和使用开关电器、主令电器、熔断器、接触器、继电器等低压电器。
2. 能够根据实际需求进行电器的组合和配置，实现所需的控制功能。
3. 能够正确安装和使用各种电器。
4. 能够理解和分析电器的故障，并进行维修和更换。

素质目标

1. 培养学生对事物的观察与发现能力。
2. 培养安全意识，遵守操作规程，保证工作安全。

1.1 低压电器常识

低压电器在我们的身边随处可见，其应用领域非常广泛，从电力、工业控制、通信、商业和民用建筑等，几乎各行各业都离不开它，低压电器产品和由低压电器组成的电气配电、照明、控制线路几乎渗透到各个用电领域。低压电器是低压电气系统可靠运行的基础，是安全用电的重要保证。电气（工）从业人员必须熟练掌握有关知识和技术，才能在工作中得心应手。

1. 低压电器的定义

低压电器是指工作电压在交流 1000V 以下、直流 1200V 以下的电气设备。

2. 低压电器的作用

低压电器的主要作用是通过外界信号和要求，手动或自动地接通、断开电路，以实现电路或非电对象的切换、控制、保护、检测、变换和调节等作用。

3. 低压电器的种类

低压电器种类及其繁多，作用、功能、应用范围和构造等各不相同，工作原理各不相同，低压电器的分类方法很多。常用的低压电器分类如下。

低压电器的种类

（1）按用途和功能分类。

①低压配电电器。

主要用于低压配电系统的主回路中。当系统发生故障时能够准确动作、可靠工作，在规定条件下具有相应的物理和化学稳定性（动稳定性、热稳定性、光稳定性等）。

常用配电电器有照明开关、刀开关、转换开关、负荷开关、隔离开关、断路器、熔断器、避雷器、集成化终端电器等。

②控制电器。

主要用于控制回路和辅助电路中，控制受电设备，使其按预期要求的状态工作的电气元件。要求其寿命长、体积小、质量轻、工作准确可靠及操作频率高等。

常用控制电器有接触器、继电器、启动器、主令控制器、电磁铁、互感器、接近开关、转换开关、传感器等。

③启动器。

三相异步电动机的各种启动器的启动原理都是基于继电逻辑控制原理，由开关电器级保护电器组合而成。实现这些启动方式的继电逻辑控制电路（系统）在国家标准中统称为启动器，包括星-三角启动器、自耦变压器减压启动器、软启动器（固态减压启动器）、变阻式启动器（H 级启动器）等。

④工业自动化设备。

工业自动化设备是众多自动化产品的统称，自动化设备是在无人干预的情况下，根据已经设定的指令或者程序，自动完成工作流程的任务。可包括边缘控制器、可编程逻辑控制器（PLC）、通用变频器、软启动器、传感器等。

（2）按操作方式分类。

①自动电器。

依靠自身参数的变化或外来信号的作用，自动完成电路的通断等动作，如接触器、继电器等。

②手动电器。

通过手动操作进行切换的电器，如刀开关、转换开关及按钮等。

（3）按有无触点类型分类。

①有触点电器。

利用触点的通断切换电路，有触点电器的优点是动作可靠、机械强度好，缺点是动作速度慢、消耗功率大、灵敏度低且体积大，机械部分易磨损，如接触器、刀开关及按钮等。

②无触点电器。

无机械触点的电器，利用电子元件的开关效应，实现电路的通断控制，其优点是动作速度快、操作频率高、消耗功率少、灵敏度高、体积小、质量轻、寿命高及功能强，缺点是不能实现理想的电气隔离、过载能力差、温度特性和抗干扰能力差等，如接近开关、霍尔开关、电子式时间继电器及固态继电器等。

③混合式电器。

为扬长避短，将有触点和无触点两类电器结合在一起使用的电器，如采用晶体管继电器作为感应元件，有触点继电器作为执行元件的混合式继电器。

（4）按工作原理分类。

①电磁式电器。

根据电磁感应原理动作的电器，如接触器、继电器及电磁铁等。

②非电量控制电器。

依靠外力（人力、机械力）或非电量信号（如速度、压力及温度等）的变化而动作的电器，如转换开关、行程开关、速度继电器、压力继电器及温度继电器等。

（5）按工作电压类型分类。

按工作电压类型，低压电器可分为交流电磁式低压电器和直流电磁式低压电器。

（6）按应用行业、场合分类。

按工作条件分类，低压电器可分为一般工业用电器、通用电器、配电电器、牵引电器、防爆电器、真空电器、化工电器、矿用电器、航空电器、船舶电器、建筑电器、农用电器、智能家居电器等。

（7）按低压电器型号分类。

按低压电器型号，低压电器可分为刀开关 H、熔断器 R、断路器 D、控制器 K、接触器

C、启动器 Q、控制继电器 J、主令电器 L、电阻器 Z、变阻器 B、调整器 T、电磁铁 M。

（8）按防护形式分类。

第一类防护形式是对于人身安全的重要保障。这类防护形式主要针对直接或间接雷击、静电感应、短路、过载、漏电、过热、淋水以及腐蚀等潜在的危险情况进行预防。

第二类防护形式主要针对设备的防护等级、防水等级、防腐蚀等级、防爆等级、防漏电等级、耐压等级和绝缘等级等方面进行评估和规定。

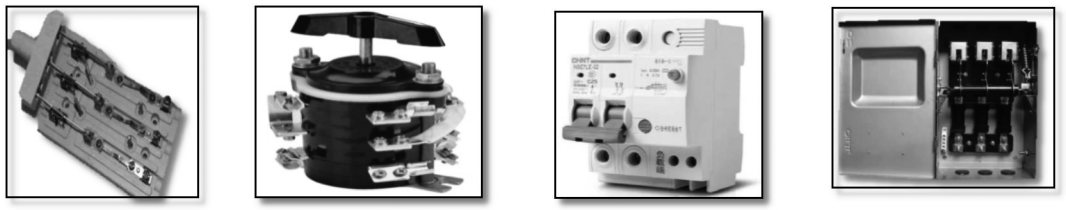
（9）按 IP 防护等级分类。

按照 IP 防护等级分为户内用、户外用电器和控制设备等。

本章将对常用低压电器进行介绍。

1.2 开关电器

开关电器是指低压电器中作为不频繁地手动接通和分断电路的开关，或作为机床电路中电源的引入开关，常见的开关电器有刀开关、组合开关、空气开关和负荷开关，如图 1-1 所示。



（a）刀开关　（b）组合开关　（c）空气开关　（d）负荷开关

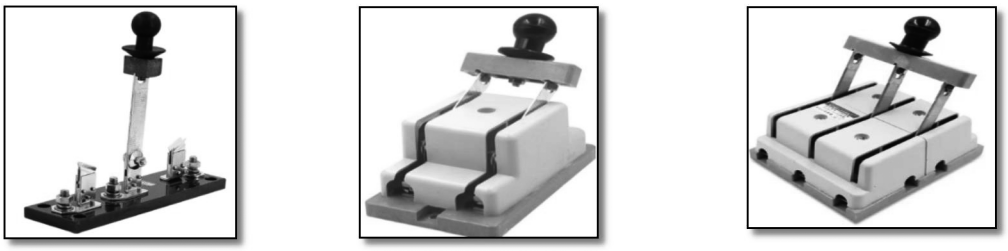
图 1-1　开关电器

1.2.1 刀开关

刀开关又称闸刀开关，是一种直接由人手动操作的电气开关，主要用于不频繁接通和切断交、直流电路。在电路中，它主要起电源隔离的作用。所以，又称为隔离开关。

（1）分类。

如图 1-2 所示，根据刀的极数和操作方式，刀开关可分为单极、双极和三极。常用的三极开关额定电流有 100A、200A、400A、600A、1000A 等。



（a）单极刀开关　（b）双极刀开关　（c）三极刀开关

图 1-2　刀开关实物图

（2）结构与型号。

刀开关的结构主要由操作手柄、动触点、静触点和底座构成（图 1-3）。

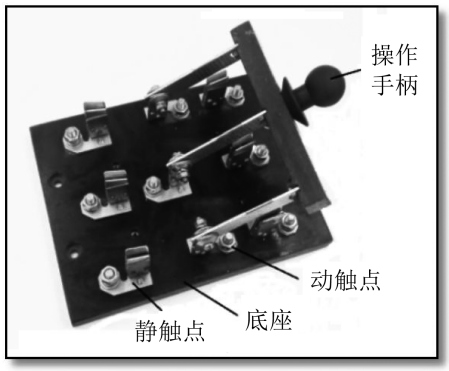


图 1-3　刀开关结构图

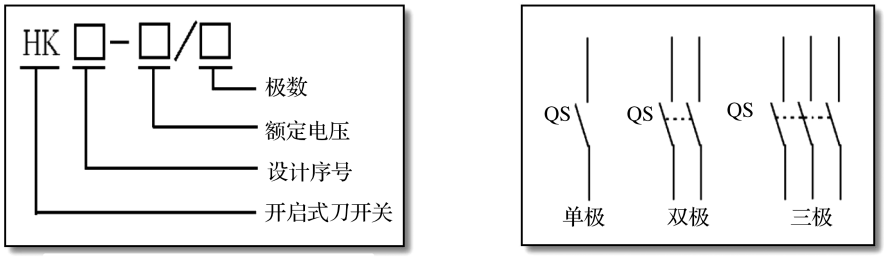
操作手柄：刀开关的手动操作部分，与触刀相连，操作时手柄可以带动触刀实现开关的合闸和分闸。触刀通常由经过氧化或硫化处理的硬铝或硬铜制成。

动触点：与操作手柄相连，可以在手柄的推动下运动。动触点是刀开关的关键部件之一，它与静触点接触时，形成电路的连接。通常与出线相连接。

静触点：固定在开关底座上，与动触点相对应。当动触点与静触点接触时，电流可以通过它们传递，通常与电源线相连接。

底座：刀开关的支撑部分，通常由绝缘材料制成。底座上通常安装有接线端子，用于连接电源和负载电路。

（3）刀开关的型号含义和电气符号如图 1-4 所示。



（a）刀开关的型号含义　（b）刀开关电气符号

图 1-4　刀开关的型号含义和电气符号

（4）主要技术参数。

刀开关种类很多，有两极（额定电压 250V）和三极（额定电压 380V）的刀开关，额定电流为 10～100A，其中 60A 及以下的才用来控制电动机的接通或断开，正常情况下，刀开关一般能接通和分断其额定电流。因此，对于普通负载可根据负载的额定电流来选择不同型号的刀开关。

用于照明电路时，额定电压可用 220V 或 250V，额定电流等于或大于电路最大工作电流的双极开关。

用于电动机的直接启动时，可选用额定电压为 380V 或 500V，额定电流等于或大于电动机额定电流 3 倍的三极开关。

特别说明：开启式刀开关必须垂直安装在控制屏或开关板上，不能倒装，上方接线端接电源进线，下方接线端接负载，通电状态时手柄朝上，以避免发生危险。

1.2.2 组合开关

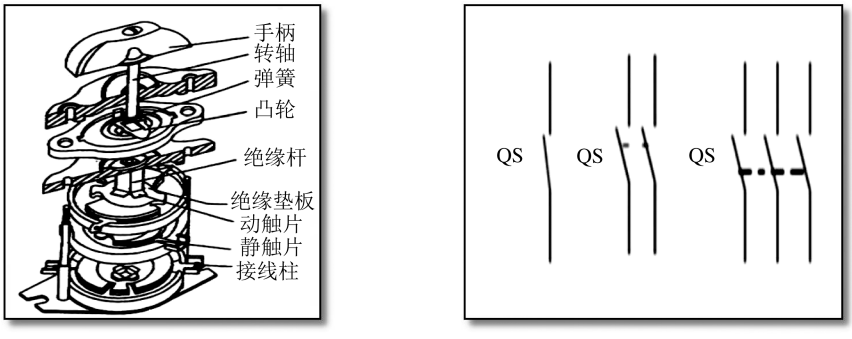


组合开关

组合开关又称转换开关，在电气控制线路中，常被作为电源引入的开关，可以直接启动或停止小功率电动机或使电动机正反转、倒顺等。局部照明电路也常用它来控制。

1. 功能结构

它是由多个开关叠装在同一转轴上组合而成，相当于一个多触点的组合刀开关。组合开关由动触点（动触片）、静触点（静触片）、转轴、手柄、定位机构及外壳等部分组成。其结构、电路图形符号如图 1-5 所示。



（a）组合开关结构　　（b）组合开关电路

图 1-5　组合开关刀结构、电路图形符号

在组合开关的内部有 3 对静触点，分别用 3 层绝缘板相隔，各自附有连接线路的接线桩，3 个动触点互相绝缘，与各自的静触点对应，套在共同的绝缘杆上，绝缘杆的一端装有操作手柄，手柄每次转动 90°，即可完成 3 组触点之间的开合或切换，可实现多路控制。

2. 分类及特点

组合开关有单极、双极、三极、四极几种，额定持续电流有 10A、25A、60A、100A 等多种。

3. 选用注意事项

组合开关是一种体积小、接线方式多、使用非常方便的开关电器。选择组合开关时应注意以下几点。

（1）组合开关应根据用电设备的电压等级、容量和所需触头数进行选用。

组合开关用于一般照明、电热电路时，其额定电流应等于或大于被控制电路中各负载电流的总和。

组合开关用于控制 5kW 以下电动机时，其额定电流一般取电动机额定电流的 1.5～2.5 倍。

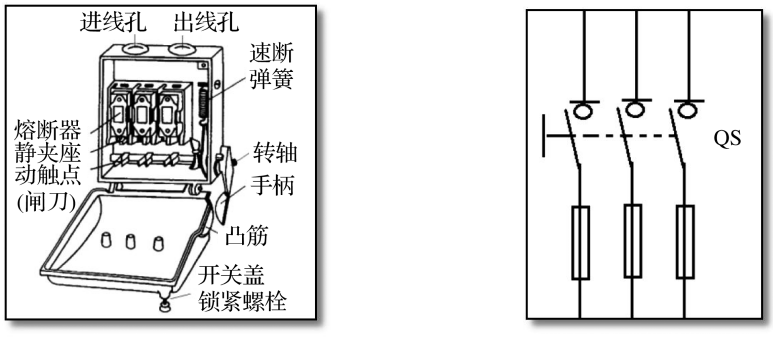
（2）组合开关接线方式很多，应能够根据需要，正确地选择相应规格的产品。

（3）组合开关本身是不带过载保护和短路保护的。如果需要这类保护，就必须另设其他保护电器。

1.2.3 负荷开关

低压负荷开关又称铁壳开关，适用于各种机器的独立配电设备，供手动不频繁接通和切断小负荷电路，具有短路保护功能。

低压负荷开关是在开启式负荷开关基础上改进的一种封闭式负荷开关，其灭弧性能、操作性能、通断能力和安全防护等方面均优于开启式负荷开关。由于其外壳采用钢板制成，因此称其为铁壳开关。它的额定电压一般为 380V 或 660V，额定电流最高可达 1000A。通常情况下，它可控制 10kW 以上的交流电动机不频繁的直接启动和停止。其结构和电路符号如图 1-6 所示。



（a）HH4系列铁壳负荷开关结构　　（b）HH4系列铁壳负荷开关电路符

图 1-6　铁壳负荷开关刀结构、电路图形符号

铁壳开关主要有以下几个特性。

（1）铁壳开关具有防水、防尘、防爆的特性，其操作机构位于开关的正面，通过手柄和杠杆联动机构实现开关的合闸和跳闸。

（2）铁壳开关内装有电磁式保护装置，当电路中发生短路、过载、缺相等故障时，保护装置会立即分闸跳闸，切断电源。

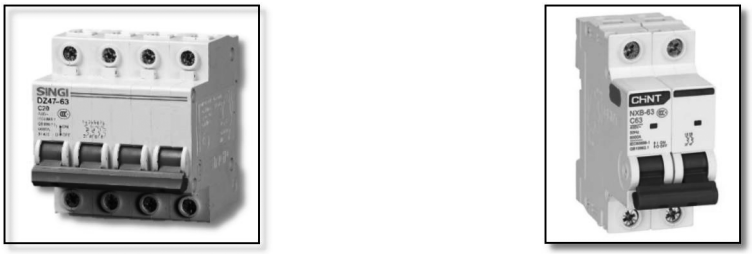
（3）铁壳开关采用的是储能分合闸机构，提高了通断能力，延长了使用寿命。

（4）铁壳开关采用的是设置联锁装置，当打开防护开关盖时，不能将开关合闸，确保了操作安全。

在工作工业控制中，由于铁壳开关体积比较大，安装起来很不方便，因此，目前许多场景选用空气开关来代替。

1.2.4 空气开关

空气开关，又称空气断路器，是断路器的一种，是一种只要电路中电流超过额定电流就会自动断开的开关。空气开关是低压配电网络和电力拖动系统中非常重要的一种电器，它集控制和多种保护功能于一身。除能完成接触和分断电路外，尚能对电路或电气设备发生的短路、严重过载及欠电压等进行保护，同时也可以用于不频繁地启动电动机。常用的有 DZ 系列（多用于工业）和 NXB 系列（多用于家用）空气断路器，其文字符号常用 QF 表示，如图 1-7 所示。

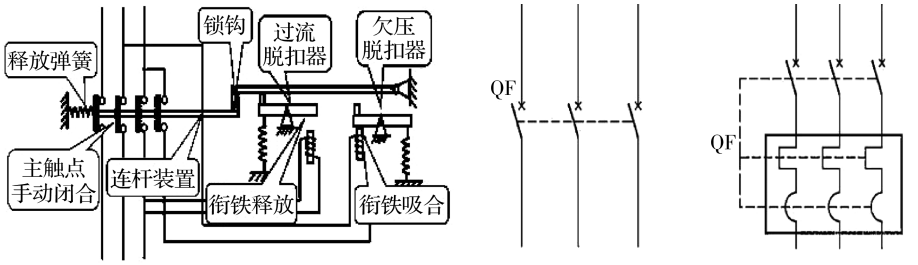


（a）DZ47-60　　（b）NXB-63C32

图 1-7　空气开关实物图

（1）结构与电路符号。

DZ 系列空气断路器的内部结构及电路符号如图 1-8（a）所示。它主要有触头系统、操作机构、灭弧装置、保护机构和外壳等组成。其中，保护机构由热脱扣器（过载保护）和电磁脱扣器（短路保护）构成，其电路符号如图 1-8（b）、图 1-8（c）所示。



（a）DZ系列空气断路器的结构原理　（b）通用电路符号　（c）具有保护功能符号

图 1-8　DZ 系列空气断路器的内部结构原理和电路附号

（2）型号规格。

DZ 系列空气断路器的型号规格如图 1-9 所示，例如，DZ5-20/330 表示额定电流为 20A 的三极复工塑壳式断路器。

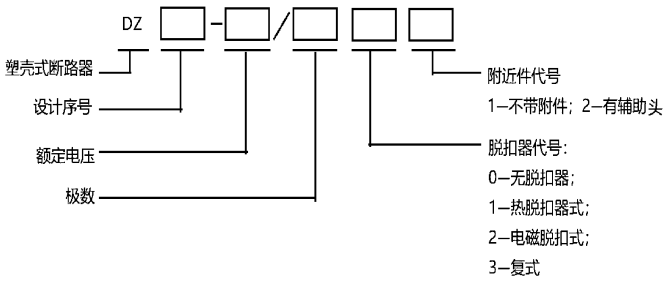


图 1-9 DZ 系列空气断路器的型号规格

（3）工作原理。

空气开关是一种自动开关，它是电流通过线圈对机械结构实施脱扣动作的低压断路器。脱扣方式有 3 种，分别是热动式脱扣、电磁式脱扣和复式脱扣。

当线路发生一般性过载时，过载电流虽不能使电磁脱扣器动作，但能使热元件产生一定热量，促使双金属片受热向上弯曲，推动杠杆使搭钩与锁扣脱开，将主触头分断，切断电源。

当线路发生短路或严重过载电流时，短路电流超过瞬时脱扣整定电流值，电磁脱扣器产生足够大的吸力，将衔铁吸合并撞击杠杆，使搭钩绕转轴座向上转动与锁扣脱开，锁扣在反力弹簧的作用下将三副主触头分断，切断电源。

开关的脱扣机构是一套连杆装置。当主触点通过操作机构闭合后，就被锁钩锁在合闸的位置。如果电路中发生故障，则有关的脱扣器将产生作用使脱扣机构中的锁钩脱开，于是主触点在释放弹簧的作用下迅速分断。按照保护作用的不同，脱扣器可以分为过电流脱扣器及失压脱扣器等类型。

（4）选择方法。

①低压断路器的额定电压和额定电流应等于或大于线路的工作电压和工作电流。

②热脱扣器的额定电流应大于或等于线路的最大工作电流。

③热脱扣器的整定电流应等于被控制线路正常工作电流或电动机的额定电流。

1.3 主令电器

主令电器是用作闭合或断开控制电路，以发出指令或作程序控制的开关电器。它包括按钮开关、行程开关、接近开关、倒顺开关、凸轮开关、脚踏开关、紧急开关、钮子开关等。使用频率较高的主令电器主要有按钮开关和行程开关。

1.3.1 按钮开关



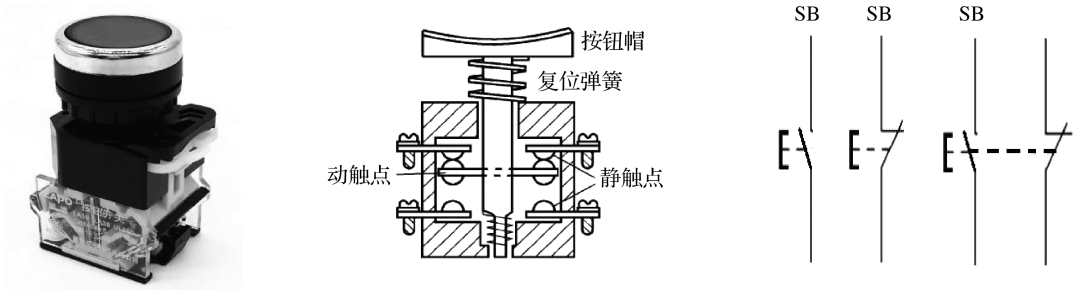
按钮开关

按钮是一种常见的控制元件，通常用于电路或设备的开启和关闭。按钮

不能直接控制大电流的主电路通断，只能在控制电路中发出指令去控制主电路中的接触器、继电器等电器，故称为主令电器。一般用于交直流电压 440V 以下、电流小于 5A 的控制电路中。

1）按钮结构。

按钮的结构比较简单，它由按钮帽、复位弹簧、桥式触点、外壳等组成。按钮帽有红、绿、黄、白等色，一般红色表示停止按钮，绿色表示启动。其外形、结构图和电气符号如图 1-10 所示。



（a）按钮实物图　（b）按钮结构图　（c）按钮电气符号

图 1-10　按钮结构的和电气符号

2）按钮的分类。

按钮可以根据不同的标准进行分类。一种常见的分类方法是根据其功能和设计特点进行分类，包括以下几种（图 1-11）。

①常开按钮：这种按钮的开关触点是断开的。

②常开常闭按钮：这种按钮具有常开和常闭触点，可以用于接通和断开电路。

③动作点击按钮：这种按钮通常用于鼠标点击操作，触发某些动作。

按钮按使用的场景不同，可分为保护式按钮（H）、带灯按钮（D）、防爆式按钮（B）、防腐式按钮（F）、防水式按钮（S）、紧急式按钮（J）、旋钮式按钮（X）、钥匙式按钮（Y）、自持按钮（Z）、组合式按钮（E）等。



（a）保护式按钮　（b）带灯按钮　（c）防爆式按钮　（d）防腐式按钮　（e）防水式按钮

（f）紧急式按钮　（g）旋钮式按钮　（h）钥匙式按钮　（i）自持按钮　（j）组合式按钮

图 1-11　按钮的实物图

按产品系列分，常见按钮有 LA 系列和 LY1 系列。

LA 系列按钮的额定电压为交流 500V、直流 440V，额定电流为 5A；

LY1 系列按钮的额定电压为交流 380V、直流 220V，额定电流为 5A。

3）按钮的型号含义（图 1-12）。

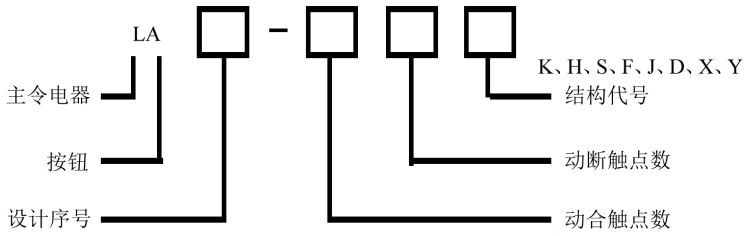


图 1-12　按钮的型号

4）按钮的选用。

（1）按使用场合的不同和具体的用途

①根据使用场合选择按钮的种类，如开启式、防护式、防水式、防腐式等。

②根据用途选择用合适的形式，如手把旋转式、钥匙式、紧急式、带灯式等，例如控制台柜板面的一般按钮可先用开启式。

③如需要显示工作状态则用带指示灯式。

④在非常重要处，为防止无关人员误操作宜选用带钥匙式。

（2）按工作状态、指示和工作情况的要求选择按钮和指示灯的颜色

用于表示“启动”或“通电”的用绿色，表示“停止”的用红色。指示灯的电压（灯泡）分为 6.3V、12V、24V 等。

（3）按控制回路的需要，确定不同的按钮数：单钮、双钮、三钮、多钮等。例如，需要“正”“反”“停”三种控制时，可用三只按钮，并装于同一按钮盒内；只需作“启动”及“停止”控制时，则用两只按钮组装在同一个按钮盒内。

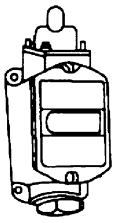
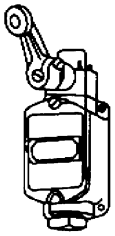
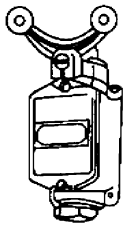
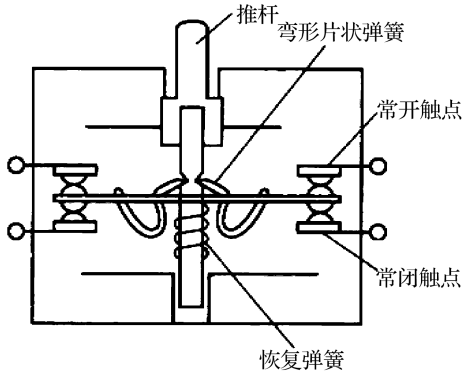
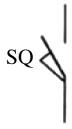
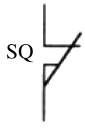
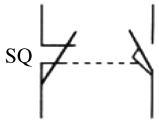
1.3.2　行程开关

行程开关与按钮开关的作用相同，但两者的操作方式不同。按钮是用手指操作，而行程开关则是依靠生产机械运动部件的档铁碰撞而动作。行程开关除作为位置控制外，还常用作车门打开自停开关，当检修设备打开车门时自动切断控制电路，起到安全保护作用。它的主要作用是将机械位移转换成电信号，使电动机运行状态发生改变，即按一定行程自动停转、反转、变速或循环，用定控制机械运动或实现安全保护。

（1）外形、结构及电路符号。

行程开关通常由两个主要部分组成：一个机械机构和一个电子开关。机械机构可以由触点杠杆、弹簧、活动挂钩、钢球和摆杆等组件构成。它的外形、结构与符号见表 1-1。

表 1-1　行程开关的外形、结构与符号

<table>
<tr><td></td><td>直动式</td><td>单轮旋转式</td><td>双轮旋转式</td></tr>
<tr><td>外形</td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>结构</td><td colspan="3">
</td></tr>
<tr><td></td><td>常开触点</td><td>常闭触点</td><td>复合触点</td></tr>
<tr><td>符号</td><td>
</td><td>
</td><td>
</td></tr>
</table>

（2）型号规格。

常规行程开关有 LX19 系列和 JLXK1 系列两大类，型号规格如图 1-13 所示。

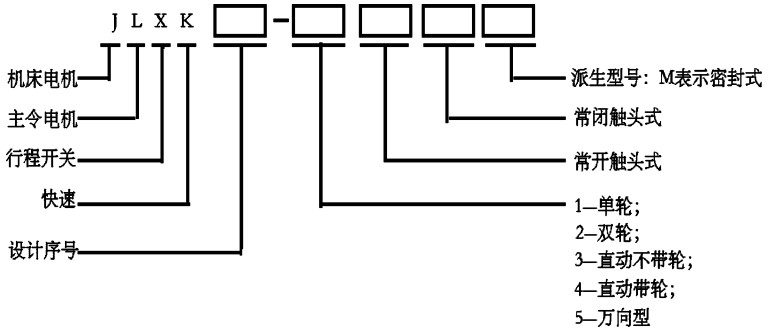


图 1-13　行程开关的型号规格

如 JLXK1-122 表示单轮旋转式行程开关，两对常开触头和两对常闭触头。

通常行程开关的触头额定电压为 380V，额定电流为 5A。

1.4　熔断器

熔断器俗称保险，是应用最普遍的短路保护器件之一。在使用时将其串联在被保护的电路当中，当流过的电流小于或等于额定电流时，熔断器的熔体应保持正常工作；当流过的电流高于额定电流时，熔断器内的熔体因产生的过高热量使其熔化而断开被保护的电路，将电源切断，起到保护作用。熔体熔断后，必须重新更换原规格的熔体，否则存在安全隐患。

（1）熔断器的分类。

熔断器的种类很多，常见的有 RC 插入式熔断器、RL 螺旋式熔断器、RM 无填料封闭式熔断器、RS 快速熔断器、RT 有填料管式熔断器和 RZ 自复式熔断器等。常用熔断器的类型、特点和应用场合见表 1-2。

表 1-2　常用熔断器的类型、特点和应用场合

类型	实物	特点	应用
RC1A 系列 瓷插式熔断器		结构简单，价格低廉，更换方便，使用时将盖插入瓷座，拔下瓷盖便可以更换熔丝	额定电压为 380V 及以下额定电流为 5～200A 的低压线路末端或分支电路中，用作线路和用电设备的短路保护，在照明线路中还可起过载保护作用
RL1 系列 累旋式熔断器		熔断管内装有石英砂、熔丝和带小红点的熔断指示器，石英砂用以增强灭弧性能。熔丝熔断后有明显指示	在交流额定电压 500V、额定电流 200A 及以下的电路中，作为短路保护器件
RM10 系列 无填料封闭 管式熔断器		熔断管为钢纸制成，两端为黄铜制成的可拆式帽，管内熔体为变截面的熔片，更换熔体较方便	用于交流额定电压 380V 及以下、直流电压 440V 及以下、电流在 600A 以下的电力线路中
RT0 系列 有填料封闭 管式熔断器		熔体是两片网状紫铜片，中间用锡桥连接。熔体周围填满石英砂，起灭弧作用	用于交流 380V 及以下、短路电流较大的电力输配电系统中，作为线路及电气设备的短路保护及过载保护

续表

类型	实物	特点	应用
NG30 系列有填料封闭管式圆筒帽熔断器		熔断体由熔管、熔体、填料组成，由纯铜片制成的变截面熔体封装于高强度熔管内，熔管内充满高纯度石英砂作为灭弧介质，熔体两端采用点焊与端帽牢固连接	用于交流 50Hz、额定电压 380V、额定电流 63A 及以下工业电气装置的配电线固路中
RS0 系列有填料快速熔断器		当通过的电流为额定电流的 6 倍时，熔断时间不超过 20ms，熔断时间短，动作迅速	主要用于半导体硅整流元件的过电流保护
RZ 自复式熔断器		在故障短路电流产生的高温下，局部液态金属钠迅速气化而蒸发，阻值剧增，即瞬间呈现高阻状态，从而限制了短路电流。当故障消失后，温度下降，金属钠蒸气冷却并凝结，自动恢复至原来的导电状态	用于交流 380V 的电路中与断路器配合使用。熔断器流按电流可分为 100A、200A、400A、600A 四个等级

（2）熔断器的型号和电路符号。

熔断器的型号含义和电气符号如图 1-14、图 1-15 所示。

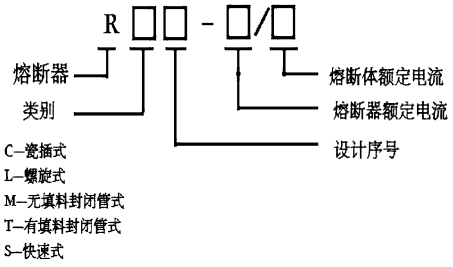


图 1-14　熔断器的型号含义

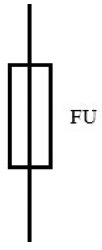


图 1-15　熔断器的电气符号

（3）主要技术参数。

熔断器是电路中一种重要的保护元件，用于防止电路因过大的电流而受损。熔断器的技术参数是选择和使用熔断器的重要依据。主要技术参数包括额定电压、熔断器额定电流、熔体额定电流、极限分断电流等。

①额定电压：额定电压是指熔断器在规定条件下能够长期安全工作的最高电压。熔断器的额定电压应高于电路的工作电压，以避免在正常运行时出现过载或短路等异常情况。

②熔断器额定电流：熔断器额定电流是指熔断器在规定条件下能够长期安全工作的最大电流。熔断器的额定电流应高于电路的工作电流，以确保熔断器具有足够的承载能力。

③熔体额定电流：熔体额定电流是指熔体长期通过而不会熔断的电流。

④极限分断电流：极限分断电流是指熔断器能够可靠分断的最高电流值。熔断器的分断电流应高于电路中可能出现的最大故障电流的 1.25～1.5 倍，以确保在电路出现故障时能够可靠地分断电流。

（4）熔断器的选择。

选择熔断器时，应重点考虑额定工作电压和额定工作电流。熔断器的额定工作电压要大于或等于电路的额定工作电压，熔断器的额定工作电流要依据电路中承担的负载情况面选择。

①一般照明电路：这种电路的负载特性主要表现为电阻性负载，负载启动过程很短，运行电流比较平稳，一般按负载额定电流的 1～1.1 倍选用熔断器的额定电流来选择相应规格的熔断器。

②单台电动机启动电路：这类负载的启动电流为额定电流的 4～7 倍，对于单台电动机，一般选择熔断器额定电流为电动机额定电流的 1.5～2.5 倍。如果启动频次和启动时间不长的电动机电路，可选择略小的，确保启动时熔断器的熔体正常工作即可。

③多台电动机启动电路：熔断器的熔体额定电流应大于或等于其中最大电机容量额定电流的 1.5～2.5 倍，再加上其余电动机的额定电流之和。

④多级控制电路：为防止发生越级熔断故障，在多级控制保护时，上一级熔断器的熔体额定电流应比下一级大 1～2 个级差。

（5）安全注意事项。

①安装、更换熔体时一定要断电操作。

②更换熔体时，原则上要使用与原来相同的材料，相同的规格型号，且保持外观有无损伤、变形。

③注意检查在 TN 接地系统中的 N 线，设备的接地保护线上，不允许使用熔断器。

④使用时间过长后，要及时清理灰尘，确保接触点无松动发热。

1.5 接触器

接触器属于控制电器，是利用电流流过线圈产生磁力和复位弹簧反作用力配合作用，使触头闭合或断开，以达到控制负载的电器。

接触器具有控制容量大、工作可靠、操作频率高、使用寿命长和便于自动化控制的特点，但本身不具备短路或过载保护的能力，因此，常与熔断器、热继电器、低压断路器等配合使用。

（1）接触器分类。

按主触点连接回路的形式分为直流接触器和交流接触器。按操作机构分为电磁式接触器和永磁式接触器。常用的有 CJ 系列等。其外形如图 1-16 所示。

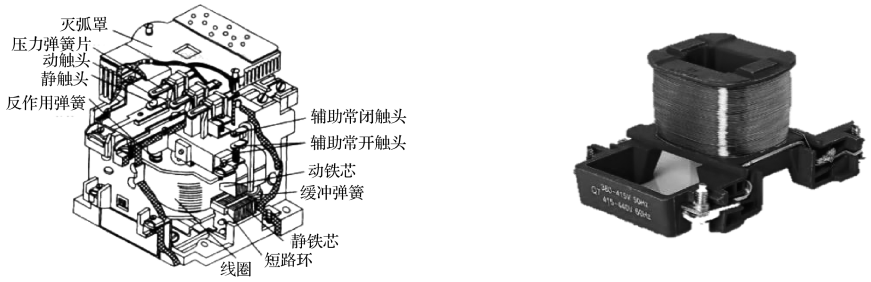


(a) CJ 系列接触器　(b) CJX1 系例接触器　(c) LC1-D 系列接触器　(d) 3TB 系列接触器

图 1-16　接触器的分类

（2）接触器结构。

接触器主要由电磁系统与触头系统组成（图 1-17）。



（a）接触器结构图　　（b）接触器线圈

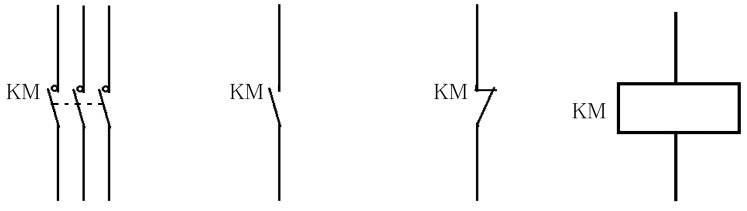
图 1-17　接触器结构图

①电磁系统。电磁系统主要由线圈、静铁芯和动铁芯组成。静铁芯和动铁芯是由较薄的硅钢片叠加而成，其目的是减小磁滞和涡流损耗。线圈产生磁场力的前提是必须通电，通过电流在线圈内产生磁场力，磁化铁芯。因此，线圈两端所加的额定电压为交流 24V、36V、48V、110V、220V 和 380V，供不同电压等级的控制电路选用。

②触头系统。触头是接触器的执行元件，用来接通或分断所控制的电路。交流接触器采用双断点桥式触头，根据用途的不同，触头分为主触头和辅助触头两种。主触头是用于通断电流较大的主电路且一般由接触面较大的常开触头组成，共有 3 对；通常主触头额定电流在 10A 以上时，接触器配有灭弧罩，用来消除触头产生的电弧，有利于接触器的长期安全使用。辅助触头用以通断小电流控制电路，它由 2 对常开触头和 2 对常闭触头成对组成，额定电流为 5A。

（3）电路符号与型号规格。

①电路符号（图 1-18）。



(a) 主触头　(b) 辅助常开触头　(c) 辅助常闭触头　(d) 线圈

图 1-18　接触器电路符号图

②型号规格（图 1-19）。

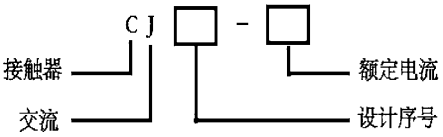


图 1-19 接触器的型号规格

（4）接触器工作原理。

如图 1-20 所示，接触器的线圈和静铁芯是固定不动的，当线圈通过电流后，线圈将产生磁场，将静铁芯磁化产生磁力，将动铁芯吸合，同时带动触头运用，使常闭触头变成常开，常开触头变成常闭。

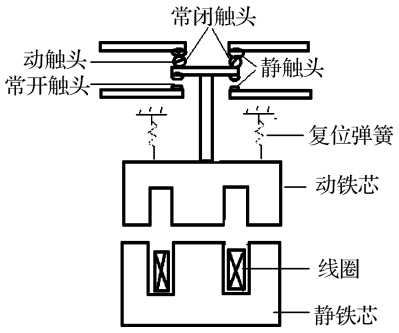


图 1-20 接触器工作原理

当线圈断电流后，磁力消失，动铁芯在复位弹簧的作用下，回到吸合前的状态，常闭触头恢复闭合，常开触头恢复断开。

（5）选用接触器的主要参数。


选用接触器的主要参数

①触器的主触头额定电流。

根据负载的性质和它所需要的启动电流来选择接触器的主触头额定电流。对于电动机负载，可以选择额定电流为电动机额定电流的 1.5～3 倍的接触器。

②接触器的负载能力。

根据负载的额定功率来选择接触器的负载能力。一般来说，接触器的负载能力应该大于或等于电动机的额定功率。

③接触器的线圈电压。

根据接触器的控制回路电压来选择接触器的线圈电压。一般来说，接触器的线圈电压应该和电动机的控制回路电压一致。

④接触器的防护等级

根据接触器的使用环境来选择接触器的防护等级。一般来说，可以根据接触器的使用环境选择 IP20 或 IP40 等级的接触器（IP 防护等级标准共分为 6 个等级，从低到高分别为 IP00、IP20、IP40、IP60、IP65 和 IP67。IP00 代表完全无防护；IP20 代表针对入口处的低级防护；IP40 代表针对灰尘的中级防护；IP60 代表针对液体的高级防护；IP65 代表针对水淋和雨水的极高级防护；而 IP67 代表针对沉浸性水淋的最高级防护）。

1.6 继电器

继电器是一种电控制器件，它具有控制系统（又称输入回路）和被控制系统（又称输出回路）之间的互动关系，是用小电流去控制大电流运作的一种“自动开关”，故在电路中起着自动调节、安全保护、转换电路等作用。

继电器的种类很多，可按输入量、工作原理和用途分类。

按输入量分类，可以分为电压继电器、电流继电器、时间继电器、速度继电器、压力继电器等；

按工作原理分类，可以分为电磁式继电器、感应式继电器、电动式继电器、电子式继电器等；

按用途分类，可以分为控制继电器、保护继电器等。

在具体使用中，常用的继电器主要有电压继电器、电流继电器、时间继电器和压力器等，如图 1-21 所示。



（a）电压继电器　（b）电流继电器　（c）时间继电器　（d）速度继电器　（e）压力继电器

图 1-21　继电器的类别

1.6.1 中间继电器

中间继电器属于电磁式感应继电器，在电路中起着信号传递、分配等作用，因其主要作为传递控信号和同时控制多个信号的中间元件，故称为中间继电器，用字母 KA 表示。

（1）外形与电路符号。

中间继电器实质上是一种电压继电器，但它的触点数量较多，容量较小，它是作为控制开关使用的电器。其外形与电路符号如图 1-22 所示。

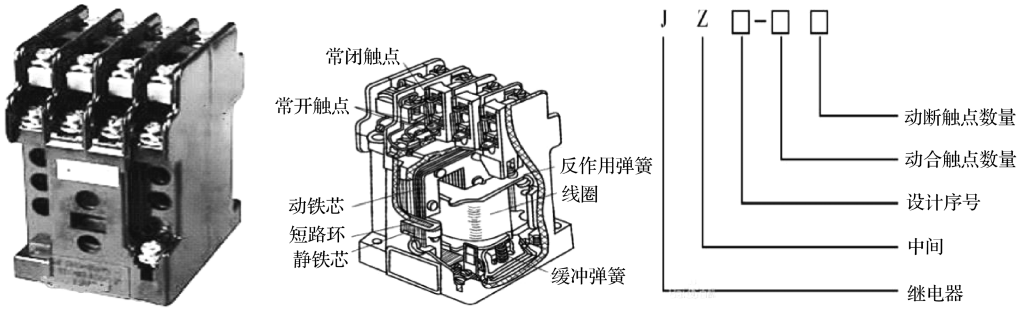


(a) Cdz9-54p 中间继电器　(b) JZC1 等比列交流中间继电器　(c) 电路符号

图 1-22　中间继电器的外形与电路符号

（2）中间继电器的结构。

中间继电器的结构和原理与交流接触器基本相同，与接触器的主要区别在于：接触器的主触点可以通过大电流；中间继电器的触点组数多，并且没有主、辅之分，通常有 4 对常开触头和 4 对常闭触头，各组触点允许通过的电流大小是相同的，其额定电流约为 5A，如图 1-23 所示。



(a) 中间继电器的结构　(b) 中间继电器的型号

图 1-23　中间继电器的结构与型号

（3）型号与参数。

在实际运用中，JZ7 系列中间继电器使用较广泛，其型号和主要参数见表 1-3。

表 1-3　中间继电器的型号及参数

型号	触点额定电压		触点额定电流/A	触点数量		额定操作频率/（次/h）	吸引线圈电压/V		吸引线圈消耗功率/（V·A）	
	直流	交流		常开	常闭		50Hz	60Hz	启动	吸持
JZ8-44	440	500	5	4	4	1200	12、24、36、48、110、127、220、380、420、440、500	12、36、110、127、220、380、400	75	12
JZ7-62	440	500	5	6	2	1200			75	12
JZ7-80	440	500	6	8	0	1200			75	12

（4）选用。

在选用中间继电器时，主要考虑触点的额定电压和电流应等于或大于所接电路的电压和电流，触点类型及数量应满足电路的要求，绕组电压应与所接电路电压相同。

1.6.2 热继电器

热继电器是利用电流热效应工作的保护电器。它主要与接触器配合使用，用作电动机的过载保护。常见的有 T 系列、JR16 系列和 JR20 系列等，如图 1-24 所示。

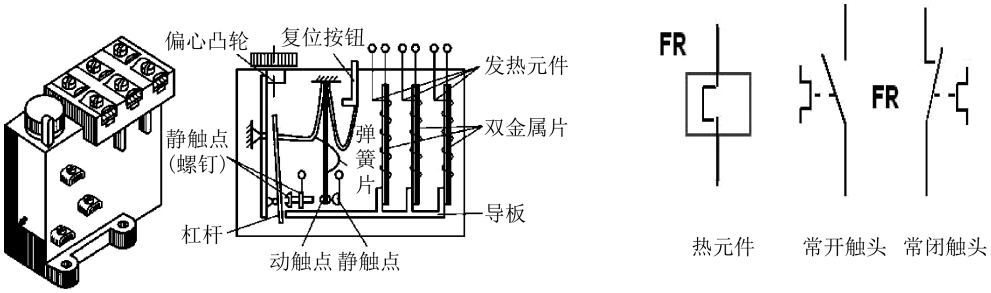


(a) T 系列　(b) JR16 系列　(c) JR20 系列

图 1-24　热继电器的系列

（1）结构与电路符号。

目前使用的热继电器有两相和三相两种类型，对三相异步电动机过载保护通常使用三相双金属片式热继电器，如图 1-25 所示，它主要由发热元件、传动推杆（导板）、电流整定旋钮（偏心凸轮）和复位杆（复位按钮）组成。动作原理如图 1-25（b）所示，电路符号如图 1-25（c）所示。



(a) 外形图　(b) 原理图　(c) 热继电器的电路符号

图 1-25　热继电器的结构原理及电路符号

（2）型号规格。

热继电器的型号规格如图 1-26 所示。

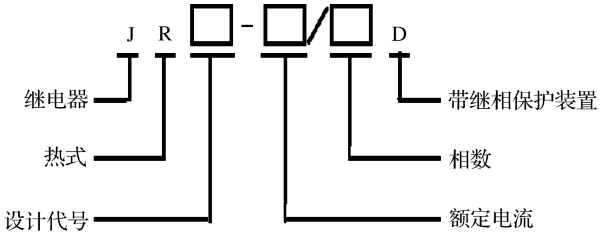


图 1-26　热继电器的型号规格

说明：①相数分单相、两相和三相，D 表示单相用，2 表示 A、C 两相，3 表示三相。

②断相保护有 D 表示有断相保护，没有 D 表示无断相保护。

如 JR16-60/3D 表示热继电器，设计代号为 16，额定电流为 60A，3 相，带断相保护。

（3）技术参数。

①额定电压：热继电器能够正常工作的最高的电压值，一般为交流 220V、380V、600V。

②额定电流：热继电器的额定电流主要是指通过热继电器的电流。

③额定频率：一般而言，其额定频率按照 45～62Hz 设计。

④整定电流范围：整定电流的范围由本身的特性来决定。在一定的电流条件下，热继电器的动作时间和电流的平方成反比。

（4）选择方法。

①选型号类型。可根据电动机的相数、过载特性和联接方法选择不同型号和类型的热继电器，保证电机短时过载和启动的瞬间，热继电器工作稳定。一般情况，电动机三角形连接时，应选择具有断相保护功能的热继电器；电动机启停频率较高时，应选带速饱和电流互感器的热继电器；电动机正反转工作时，不宜使用热继电器而应使用埋入电动机绕组的温度继电器或热敏电阻来保护。

②选额定电流：热继电器和电动机的额定电流尽量相等。热继电器的整定值可等于 0.95～1.05 倍的电动机的额定电流。

③选整定电流：热继电器的整定电流最大值应不小于电动机的额定电流，一般情况下应相等，对于启动时负载较重的电动机，整定电流应比电动机额定电流稍大为宜。

1.6.3 时间继电器

时间继电器是一种利用机械和电子控制原理，来实现对触头闭合或断开进行延时动作的控制电器。

（1）分类。

①按工作原理分，时间继电器可分为空气阻尼式、电动式、晶体管式和可编程式等，如图 1-27 所示。



（a）JS7系列
空气阻尼 式热继电器



（b）JS-10型
电动式热继电器



（c）js14a1-10s型
晶体管式热继电器



（d）HF72型
可编程式热继电器

图 1-27 时间继电器的系例

②按延时方式分，可分为通电延时型时间继电器和断电延时型时间继电器。

通电延时型时间继电器是指线圈通电后，触点延时动作，即当线圈通电后，其延时动合触点要经过设定时间后才闭合，延时动断触点要经过设定时间后才断开；当线圈失点后，延时动合触点迅速断开，延时动断触点迅速闭合。电路符号如图 1-28 所示。

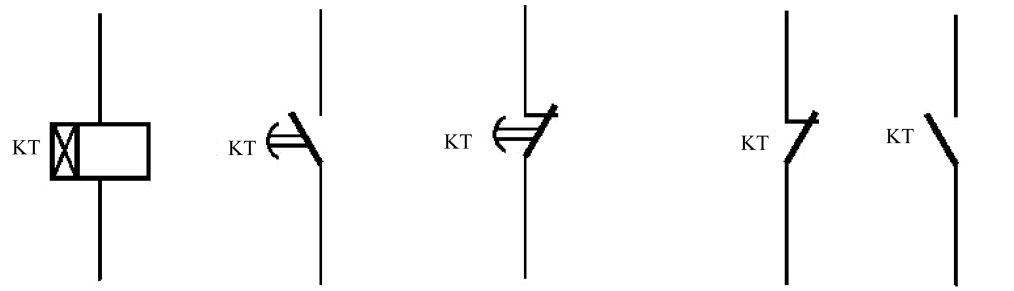


图 1-28　通电延时型时间继电器的电路符号

断电延时型时间继电器是指线圈通电后，触点延时动作，即当线圈通电后，其延时断开的动合触点迅速闭合，延时闭合的动断触点迅速断开；当线圈失电后，延时断开的动合触点要经过设定时间后才断开，延时闭合的动断触点要经过设定时间后才闭合。电路符号如图 1-29 所示。

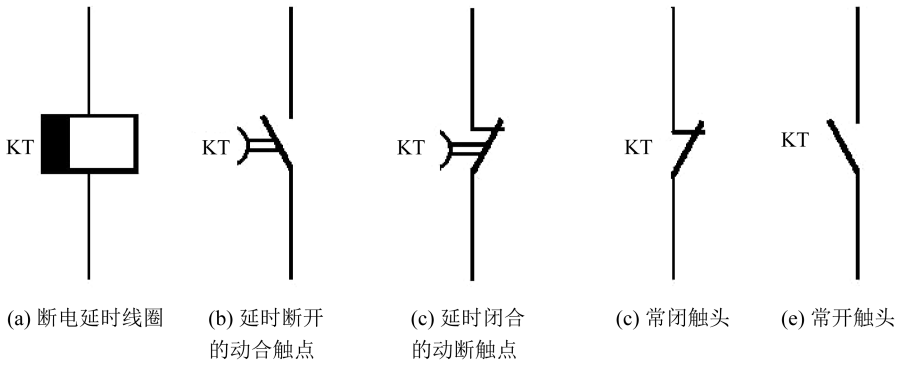


图 1-29　断电延时型时间继电器的电路符号

（2）型号规格。

时间继电器的型号规格如图 1-30 所示。

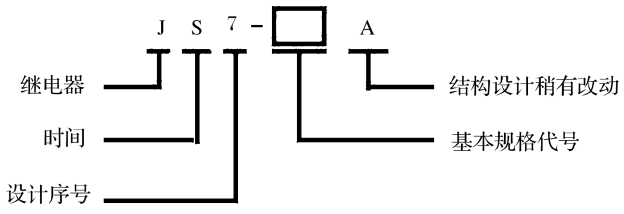


图 1-30　时间继电器的型号规格

说明：

基本规格代号：1 表示通电延时，无瞬时触点；

2 表示通电延时，有瞬时触点；

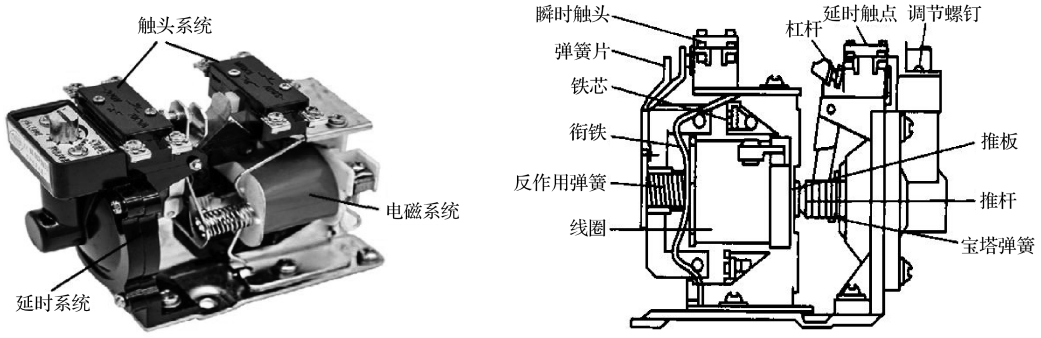
3 表示断电延时，无瞬时触点；

4 表示断电延时，有瞬时触点。

在工业控制领域，最常见的时间继电器是空气阻尼式时间继电器和晶体管式时间继电器两种，下面重点讲解这两种时间继电器。

（3）空气阻尼式时间继电器。

空气阻尼式时间继电器是利用气室内的空气，通过小孔节流的原理来获得延时动作。它由电磁系统、延时机构和触头系统三部分组成。其结构如图 1-31 所示。



(a) 空气阻尼式时间继电器实物图　　(b) 空气阻尼式时间继电器结构图

图 1-31　空气阻尼式时间继电器实物及结构图

工作原理：空气阻尼式时间继电器电磁线圈通电后，动铁芯吸合，瞬时触头立即动作，与气室紧贴的橡皮膜随进入气室的空气量而开始移动，通过推杆使延时触头延时一定时间后动作，调节进气孔的大小，可获得所需要的延时量。断电延时型的工作原理与通电时延时工作原理相似。

主要技术参数如下。

①供电电压：常用的有交流 24V、36V、110V、220V、380V。

②延时规格：一般为 0.4～60s、0.4～180s。

（4）晶体管式时间继电器。

晶体管时间继电器是一种类似于机械继电器的作用的电子元件，主要作用是在电路中控制电流的流动，从而实现电路的开关控制。

特点：晶体管时间继电器的优点是体积小、质量轻、功耗低、寿命长、可靠性高、响应速度快、延时精度高等，调节起来也比较容易。

主要技术参数：

①供电电压：常用的有交流 36V、110V、220V、380V；直流 24V、27V、30V、36V、110V、220V。

②延时规格：一般为 5s、10s、30s、60s、120s、180s、5min、10min、30min、60 min。

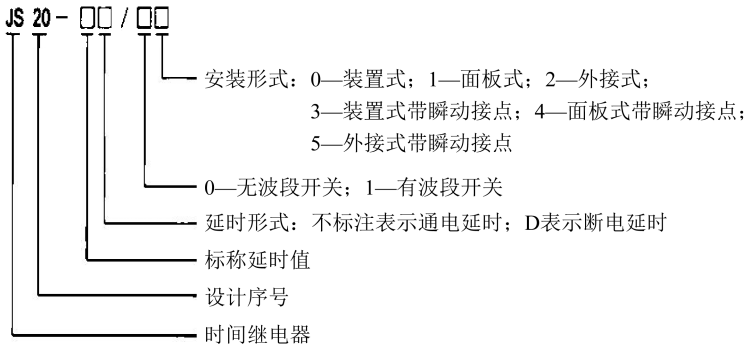
如图 1-32 所示，JS20 晶体管工作时间进行继电器，工作电压为交流电压 220V，延时规格为 60s，刻度调节范围 0～10，即调节时每个刻度指定的延时表示 6s，如指到第 5 格，延时时间就为 30s。

选用时的注意事项：

①根据系统的延时范围和精度，选择时间继电器的类型和系列。空气阻尼式时间继电器适合精度要求不高的系统；晶体管式时间继电器适合精度要求高，延时范围较大的系统。



(a) 晶体管式时间电器的实物图



(b) 晶体管式时间电器的型号规格

图 1-32　晶体管式时间继电器的实物及型号规格

②根据控制电路的要求，选择通时间继电器的延时方式，确定是选择通电延时型，还是断电延时型。

③时间继电器的工作电压（如线圈电压）应与控制电路电压等级相同。

④时间继电器的触点容量是有限的，不能带大负载。

⑤时间继电器在工作中修改设定值，继电器只会依据修改前的设定值运行，除非断一次电才会改变。

⑥时间继电器的复位端子间只能接无源开关。

1.6.4　速度继电器

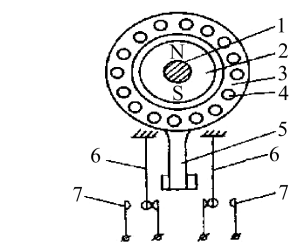
速度继电器是反映转速和转向的继电器，其主要作用是以旋转速度的快慢为指令信号，与接触器配合实现对电动机的反接制动控制，故又称为反接制动继电器。常用字线 KS 来表示。

（1）结构及电路符号。

它的结构主要是由转子、定子及触点三部分组成。机床上常用的速度继电器有 JY1 型和 JFZ0 型，JY1 型速度继电器如图 1-33 所示。

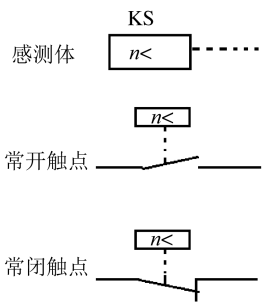


（a）JY1型速度继电器



1—转轴；2—转子；3—定子；4—绕组；
5—摆动柄；6—静触头；7—动触头

（b）结构原理

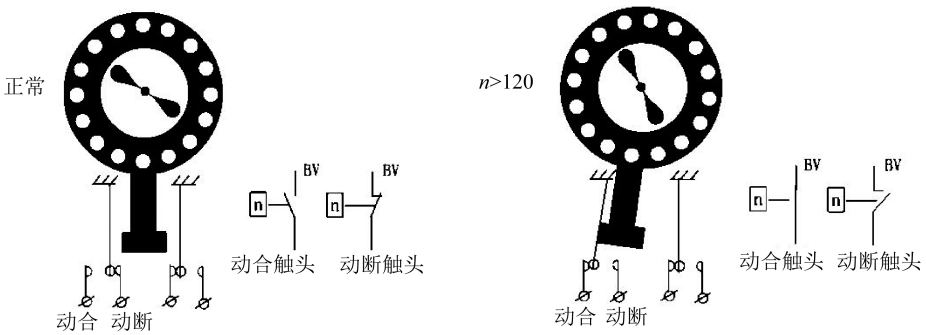


（c）图形符号

图 1-33　速度继电器的实物、结构原理及型号规格

（2）速度继电器的工作原理。

速度继电器的转子是一个永久磁铁，与电动机或机械轴连接并同步旋转，形成旋转磁场去切割定子绕组，定子绕组产生感应电势及感应电流，并随着转子转动而转动起来，带动摆动柄转动，推动触点闭合与分断。当转子转速 $n<100$ 时，动合触头断开，动断触头闭合；当转子转速 $n>120$ 时，动合触头闭合，动断触头断开。其工作原理如图 1-34 所示。



（a）静止或低速状态　　（b）高速状态

图 1-34　速度继电器工作原理

当电动机旋转方向改变时，继电器的转子与定子的转向也改变，这时定子就可以触动另外一组触点，使之分断与闭合，分析方法与正转原理相同。

当电动机停止时，继电器的触点即恢复原来的静止状态。

由于继电器工作时是与电动机同轴的，无论电动机正转或反转，电器的两个常开触点，就有一个闭合，准备实行电动机的制动。一旦开始制动时，由控制系统的联锁触点和速度继电器的备用的闭合触点，形成一个电动机相序反接（俗称倒相）电路，使电动机在反接制动下停车。而当电动机的转速接近零时，速度继电器的制动常开触点分断，从而切断电源，使电动机制动状态结束，不再返转启动。

总之一句话，整个过程就实现改变三相异步电动机的电源输入相序，形成反转制动。

1.7　其他新型电器

（1）可编程逻辑控制器（PLC）。

PLC 是一种可编程的工业控制计算机，它使用数字电子技术来控制工业生产过程，具有可靠性高、灵活性好、易于编程和维护等优点。

（2）变频器。

变频器是一种电力控制设备，它应用了变频技术和微电子技术，通过改变电机工作电源

频率方式来控制交流电动机。变频器主要由整流（交流变直流）、滤波、逆变（直流变交流）、制动单元、驱动单元、检测单元微处理单元等组成。它通过内部的 IGBT 的开断来调整输出电源的电压和频率，以满足电机的实际需要，实现节能和调速的目的。此外，变频器还有很多保护功能，如过流、过压、过载保护等。变频器在工业自动化程度的提高下得到了广泛应用。

（3）传感器。

传感器是一种检测装置，能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息按一定规律转换成可用输出信号，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。传感器是实现自动检测和自动控制的首要环节，具有微型化、数字化、智能化、多功能化、系统化、网络化等特点。被测的物理量、化学量、生物量等可利用物理效应、化学效应、生物效应等转换成符合需要的电量。

（4）触摸屏。

触摸屏是一种可接收触头等输入信号的感应式液晶显示装置，当接触了屏幕上的图形按钮时，屏幕上的触觉反馈系统可根据预先编程的程式驱动各种连结装置，用以取代机械式的按钮面板，并借由液晶显示画面制造出生动的影音效果。

课后习题

1. 什么是低压电器？
2. 按用途和功能分类，低压电器分哪些类别？
3. 开关电器的主要作用是什么？常见的开关电器有哪些？
4. 按钮开关的作用是什么？按功能和设计特点进行分类可分为哪几类？
5. 熔断器在电路中的作用是什么？它有哪些主要参数？
6. 熔断器的额定电流与熔体的额定电流是不是一回事？二者有何区别？
7. 熔断器在使用的过程中如出现损坏，应如何处理？处理时应注意哪些事项？
8. 熔断器与热继电器用于保护交流三相异步电动机时，能不能互相取代？为什么？
9. 交流接触器由哪几部分构成？各自部分的作用是什么？
10. 交流接触器在通电后触头吸合动作正常，但电动机仍然缺相，请分析一下接触器可能出现了什么故障。
11. 在电机正反转控制电路中，当闭合启动按钮后，发现交流接触器不吸合工作，请分析一下电路可能出现的故障原因。
12. 中间继电器和接触器有何异同？在什么条件下可以用中间继电器来代替接触器控制电动机？
13. 热继电器在电路中的作用是什么？在选用热继电器时应注意什么？
14. 热继电器是否可能用来做短路保护？为什么？

15. 电动机的启动电流很大，当电动机启动时，热继电器会不会动作？为什么？

16. 速度继电器的结构及工作原理是什么？

17. 字母 QF、QS、FU、KM、KA、KS、KT、SB、SQ 分别是什么电器元件的文字符号？

2 电机及电气控制基本电路

知识目标

1. 了解电气控制系统的组成及发展。
2. 掌握电动机控制电路的原理和应用。
3. 熟悉电动机调速控制电路的原理和应用。
4. 了解其他电机控制电路的基本原理和应用。

能力目标

1. 会正确识别和分析电路图原理。
2. 会根据电路原理图安装和调试电路。
3. 能够解决常见的电气控制系统故障和问题。

素质目标

1. 培养分析问题和解决问题的能力。
2. 培养安全意识，遵守操作规程，保证工作安全。

2.1　电气控制系统的组成及发展

随着科学技术的发展，对生产工艺不断提出新的要求，电力拖动控制装置也在不断地更新。在控制方法上从手动控制到自动控制；在控制功能上从简单到复杂；在操作上由笨重到轻巧；在控制原理上由单一的有触点硬接线的继电器控制系统，转为以微处理器为中心的软件控制系统；在控制环节上从电机的开环控制系统，转为闭环控制保护控制系统。新的控制理论和新型电器及电子元件的出现，不断地推动电力拖动控制技术的发展，如图 2-1 所示。

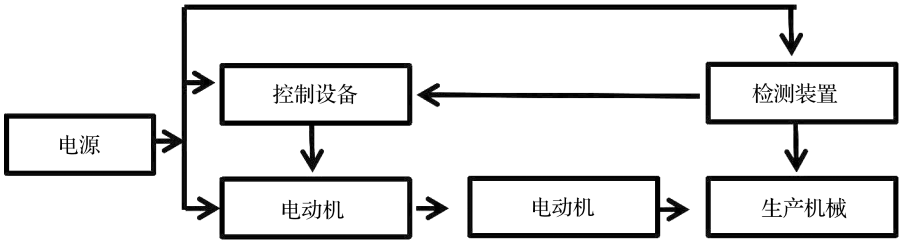


图 2-1　电气拖动系统示意图

电气控制系统共经历了手动控制阶段、机械控制阶段、电气控制阶段、计算机控制阶段、智能控制阶段、网络化控制阶段和物联网控制阶段的发展。

1. 手动控制阶段

早期的电气控制系统主要是通过人工操作来实现的，包括继电器、电磁铁等简单的电气元件。这种阶段的控制方式相对原始，效率较低，需要人工干预，适用于简单的电气系统。

2. 机械控制阶段

随着技术的发展，电气控制系统的控制方式开始变得多样化，包括各种类型的传感器、电动机等。机械控制逐渐成为主流，各种机械部件如齿轮、连杆等被用于实现电气系统的自动化控制。

3. 电气控制阶段

20 世纪 50 年代，电子技术和计算机技术的迅速发展，推动了电气控制系统的进步。电气控制系统逐渐成为主流，被广泛应用于各种工业和民用领域。在此阶段，强电和弱电的控制技术得到了极大的发展。

4. 计算机控制阶段

随着计算机技术的不断发展，计算机控制技术开始在电气控制系统中得到应用。计算机控制系统包括单片机、PLC 等先进的控制器，使得电气系统的控制更加精准和灵活。同时，计算机控制技术的应用也大大简化了电气系统的结构。

5. 智能控制阶段

智能控制阶段是电气控制系统发展的新阶段。智能控制系统具有较高的自动化水平和较强的数据处理能力，能够对系统的运行状态进行实时监测、控制和优化。智能控制技术的应用提高了电气系统的效率和精度，降低了故障率，延长了设备的使用寿命。

6. 网络化控制阶段

网络化控制阶段是继智能控制阶段之后的又一个重要阶段。在此阶段，电气控制系统开始实现网络化、信息化和智能化。通过采用现场总线、工业以太网等网络技术，将多个电气控制系统连接在一起，实现信息共享和远程控制。此外，网络化控制还使得多个子系统之间的协调变得更加便捷。

7. 物联网控制阶段

物联网控制阶段是电气控制系统发展的最新阶段。物联网技术通过各种传感器、RFID（Radio Freguency Identification，射频识别）等设备获取物理世界的各种信息，将物理世界与数字世界相融合。在物联网控制阶段，电气控制系统不仅能够实现内部信息的交互和共享，还可以与外部系统进行信息交流，实现更加智能化的决策和控制。例如，智能家居系统可以通过物联网技术实现家庭用电的智能化管理，提高用电效率，降低能源消耗。

总之、电气控制系统从最初的手动控制到现在的物联网控制，每个阶段都有其独特的技术特点和发展重点。未来，随着技术的不断创新和进步，电气控制系统将会朝着更加智能化、网络化和自动化的方向发展，为人类的生产生活带来更多的便利和效益。

2.2 电动机

电动机是一种将电能转换为机械能的装置，是电气控制系统中的重要组成部分，它是利用通电线圈（定子绕组）产生旋转磁场并作用于转子（如鼠笼形闭合铝框）形成磁电动力旋转扭矩，去带动机械系统工作的一种电器设备。

1. 电动机的分类



电动机的分类

（1）按工作电源种类，可分为直流电动机和交流电动机。

直流电动机按结构及工作原理可划分无刷直流电动机和有刷直流电动机。有刷直流电动机可划分永磁直流电动机和电磁直流电动机。电磁直流电动机可划分为串励直流电动机、并励直流电动机、他励直流电动机和复励直流电动机。永磁直流电动机划分为稀土永磁直流电动机、铁氧体永磁直流电动机和铝镍钴永磁直流电动机。

交流电机还可划分为单相电机和三相电机。单相电机输入电源是单相交流电，其电压为

220V；三相电机输入电源是三相交流电，其电压为 380V。

（2）按结构和工作原理，可分为直流电动机、异步电动机、同步电动机。

同步电机可划分为永磁同步电动机、磁阻同步电动机和磁滞同步电动机。

异步电机可划分为感应电动机和交流换向器电动机。感应电动机可划分为三相异步电动机、单相异步电动机和罩极异步电动机等。交流换向器电动机可划分为单相串励电动机、交直流两用电动机和推斥电动机。

（3）按启动与运行方式，可分为电容启动式单相异步电动机、电容运转式单相异步电动机、电容启动运转式单相异步电动机和分相式单相异步电动机。

（4）按用途可划分为驱动用电动机和控制用电动机。

驱动用电动机可划分为电动工具（包括钻孔、抛光、磨光、开槽、切割、扩孔等工具）用电动机、家电（包括洗衣机、电风扇、电冰箱、空调器、录音机、录像机、影碟机、吸尘器、照相机、电吹风、电动剃须刀等）用电动机及其他通用小型机械设备（包括各种小型机床、小型机械、医疗器械、电子仪器等）用电动机。

控制用电动机又分为步进电动机和伺服电动机等。

（5）按转子的结构可分为笼形感应电动机（旧标准称为鼠笼形异步电动机）和绕线转子感应电动机（旧标准称为绕线形异步电动机）。

（6）按运转速度可分为高速电动机、低速电动机、恒速电动机、调速电动机。低速电动机又分为齿轮减速电动机、电磁减速电动机、力矩电动机和爪极同步电动机等。

调速电动机除可分为有级恒速电动机、无级恒速电动机、有级变速电动机和无级变速电动机外，还可分为电磁调速电动机、直流调速电动机、PWM 变频调速电动机和开关磁阻调速电动机。

异步电动机的转子转速总是略低于旋转磁场的同步转速。

同步电动机的转子转速与负载大小无关而始终保持为同步转速。

总之，电动机的种类很多，在自动控制系统中常作检测、放大、执行和校正等元件使用。

2. 三相异步电动机

异步电动机具有运行可靠、结构简单、制造方便、维护容易、价格低廉等一系列优点，在此，在各行各业中被广泛使用。

（1）异步电动机分类。

异步电动机可分为单相异步电动机和三相异步电动机。单相异步电动机容量较小，多用于实验室和家庭等电气设备；三相异步电动机容量相对较大，输出功率也大，在工业生产中运用十分广泛。常见的有 Y 系列、YS 系列、YEJ 系列、JS 系列、JR 系列和 YB 系列等，其外形如图 2-2 所示。



(a) Y系列　(b) JS系列　(c) YEJ系列

图 2-2　异步电动机的种类及外形特征

（2）三相异步电动机的结构。

三相异步电动机的种类很多，但它们的基本结构类似，都是由定子和转子构成，定子和转子之间留有一定的空隙。除此之外，还有端盖、轴承、接线盒、吊环等其他附件，如图 2-3 所示。

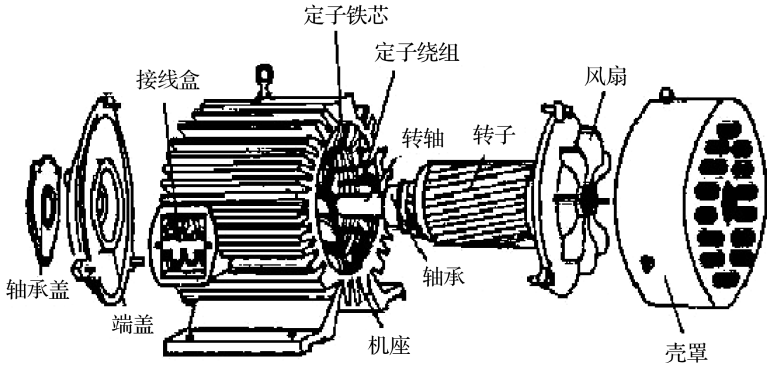
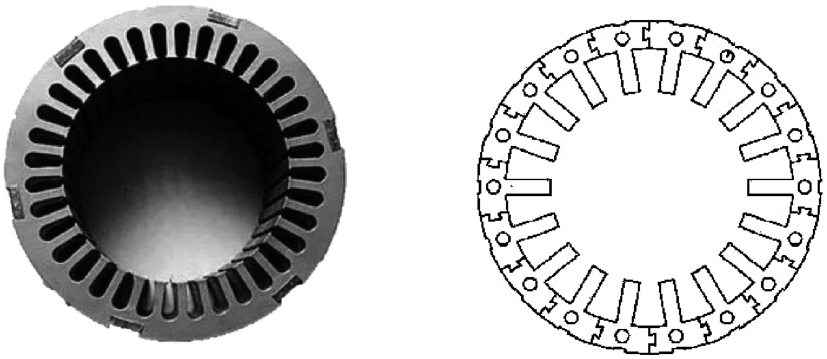


图 2-3　三相异步电动机的结构

①定子是电动机的固定部分，是用来产生旋转磁场的，一般由定子铁芯、定子绕组和外壳等组成，如图 2-4 所示。



(a) 定子铁芯　　(b) 定子硅钢片

图 2-4　定子铁芯和定子硅钢片

②定子铁芯是电动机磁路的重要组成部分，它和转子铁芯、定子和转子之间的气隙一起组成电机的完整的磁路。在异步电机中，定子铁芯中的磁通是交变的，因而产生铁芯损耗。铁芯损耗包括两部分：磁滞损耗和涡流损耗。为了减小损耗，通常将定子铁芯做成厚 0.35～0.5mm、表面涂有绝缘漆的薄硅钢片，叠加而成的圆筒。由于硅钢片较薄，片与片之间是绝缘的，因此减少了由于交变磁通通过引起的铁芯涡流损耗。如图 2-4 所示，铁芯内圆有均匀分布的槽口，用来嵌放定子绕组。

③定子绕组是安装在定子上的绕组，也就是绕在定子上面的铜线或铝线。它由多个线圈或线圈组构成一相或整个电磁电路的统称。根据线圈绕制的形状与嵌装布线方式不同，定子绕组可以分为集中式和分布式两类，如图 2-5 所示。