

SUNWODA
欣旺达

自动控制原理



深圳市第一职业技术学校

• THE FIRST VOCATIONAL TECHNICAL SCHOOL OF SHENZHEN

2021届现代学徒制班

自动控制原理

教研组组长 : 尹庆玲、朱建顺、刘会龙

教研组成员 : 许锦发、李维能、田其光、燕海涛、李长春、刘建华

教务组 : 蔡哲豪、刘艳玉、肖国政、胡燕妮、罗雄新

(排名不分先后)

校企合作·现代学徒制学徒手册第一版

校企合作项目组 编

出版机构 : 欣旺达大学

出版日期 : 2019-09-12

页数 : 161

开本 : 210mm*290mm

版次 : 2019年09月第一版

欣旺达电子股份有限公司

Sunwoda Electronic Co.,Ltd.

电话: 86-755-29516888

邮编: 518108

网址: <http://www.sunwoda.com>

地址: 深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐 and 路 2 号

公司内部资料, 严禁外传。

Sunwoda confidential



目录

第一章 自动化控制系统概述	1
第一节 自动化控制系统简介	2
第二章 自动化控制系统常用电气元件	11
第一节 开关	12
第二节 隔离开关	17
第三节 断路器	19
第四节 继电器	23
第五节 接触器	34
第六节 熔断器	37
第七节 传感器	42
第三章 常用电机的原理及控制电路	56
第一节 直流电动机	57
第二节 单相交流电动机	63
第三节 三相交流电动机	67
第四节 步进电动机工作原理	76
第五节 伺服电动机	83
第四章 常用调节器和控制器	93
第一节 单相交流电动机速度调节器	94
第二节 变频器	98
第三节 步进驱动器	103
第四节 伺服控制器	107
第五节 PLC 可编程序控制器	113
第五章 自动化控制系统常见故障及分析、处理方法	125
第一节 自动化控制系统故障概述	126
第二节 自动贴胶纸机调试及常见问题的处理	150



第一章 自动化控制系统概述

【教学目标】

- (1) 了解自动化控制工程理论的发展过程。
- (2) 掌握开环控制系统和闭环控制系统的特点。
- (3) 熟悉控制系统的基本要求。
- (4) 了解控制系统的分类。



第一节 自动化控制系统简介

一、控制工程理论的发展过程

现代家居生活、农业生产、交通运输、工业制造、军事国防、航空航天等各个领域，都离不开自动化控制。

在生产制造领域，所谓自动化控制，就是在没有人直接参与的情况下，利用控制设备，对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动的调节和控制，以实现控制设备按照预定的方案生产出符合要求的产品。

自动控制系统性能的优劣，将直接影响到生产设备的产量、产品质量、制造成本。因此，自动控制越来越受到人们的重视，在控制理论和技术应用方面也获得了飞速的发展。

机电控制技术方面，在 20 世纪 30 年代，出现了电子管调节器和模拟计算机；到 50 年代出现了晶体管、集成电路、步进电动机和三维数控机床；到 60 年代，出现了晶闸管、大规模集成电路、新型伺服电机，以及电液伺服阀的普及和计算机技术的发展；到 70 年代及以后，随着微电子技术和计算机技术的迅猛发展，陆续出现了大型多功能数控机床、数控加工中心、机械手、机器人等机电一体化的高新设备，以及计算机辅助设计（CAD Computer Aided Design）和计算机辅助制造（CAM computer Aided Manufacturing）等高新技术。如今随着时间的推移，将会出现更多的高新产品和高新技术。控制理论、微处理机技术同机械制造技术的结合、机电的结合和一体化，将促使这一领域中的试验、研究、设计、制造、管理等各个方面发生巨大的变化。

当前，控制工程理论在工业制造应用主要有以下几个方面：

（1）工业制造过程正在向机电一体化、自动化、智能化方向发展，如：加工机床进给的数字控制；工业机器人的研究和应用；柔性自动生产线；部件及产品的自动装配；产品的自动和半自动检验；具有视觉功能及其它人工智能的智能控制机器人的应用；计算机集成制造系统 CIMS 等。

（2）制造和加工过程的动态研究。因为高速切削、强力切削等正在日益广泛地应用，同时，加工精度越来越高，0.01mm 乃至 0.001mm 精度相继出现，这就要求把加工过程如实地作为动态系统加以研究，包括计算机仿真及优化。



(3) 产品设计方面，充分考虑产品与生产设备的动态特性，然后建立它们的数学模型，进行优化设计，包括计算机辅助设计和试验的研究。

(4) 动态过程或参数测试方面，正以控制理论为基础，向着动态测试方向发展。动态精度、动态位移、振动、噪声、动态力、动态温度等的测量，从基本概念、测试手段到测试数据的处理方法无不同控制理论息息相关。

二、控制系统的定义

具有控制作用的系统称为控制系统。

控制系统是具有受控对象、控制装置、控制量、被控制量，这四层含义的系统。

控制量设定后，通过控制装置作用于受控对象，使受控对象产生一定的被控制量，成为系统的输出。比如说，发电机、数控机床我们都可以把它看成受控对象，而要输出的恒定电压是被控制量。当系统有输入后，受控对象——发电机或者数控机床产生一定的被控制量，例如：输出电压等。

可见，控制系统是由输入到输出的一系列信号传递过程。学习自动化控制原理，要求我们把传统的观察问题的方式方法加上控制和通信的观点，把物理参量形式出现的控制量与被控制量看成是传递的信号。

对于那些不要求存在严格的物理参量作为输出量的设备，就不能看成是具有完整意义的控制系统。如：抽水机、搅拌机、普通卷扬机、粉碎机等一般的机械设备，都不具有明显的控制意义。它们或者是开、或者是关，除了这两种工作状态之外，再没有第三种工作状态。而一条轧钢生产线、一台机械加工中心、一条电池自动组装线，它们都具有随时变化着的工作状态，始终存在着控制量和被控制量之间的差异，没有控制，它们就不能正常工作、或不能制造出合格的产品。

三、开环控制和闭环控制的特点

依据控制系统是否设有反馈环节来进行分类，可分为开环控制系统和闭环控制系统。此处所说的“环”，是指由反馈环节构成的控制回路。

1、开环控制系统

如果控制系统的输出量不影响控制系统的控制作用，即系统的输入与输出之间无反馈通道，则称此控制系统为开环系统，如：电芯上料输送皮带的控制系统、载具输送皮带的控制系统等。

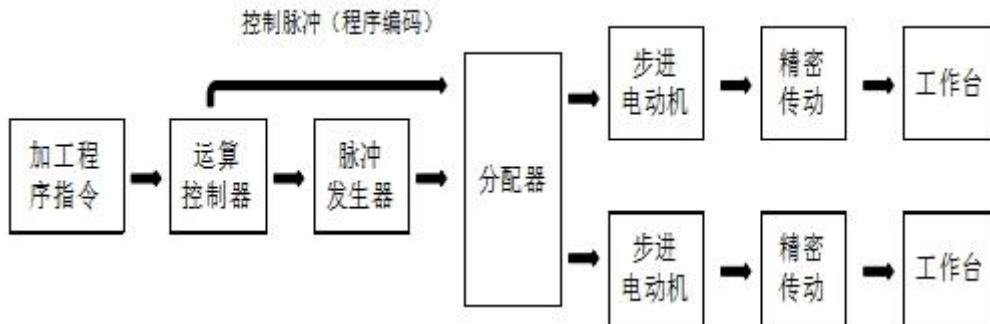


图 1-1 数控加工机床控制示意图

如图 1-1 所示由步进电动机驱动的数控加工机床，是一个未设反馈环节的控制系
统，即为开环控制系统。它由预先设定的加工程序指令，通过运算控制器（可为微机或
单片机），去控制脉冲的产生和分配，发出相应的脉冲量，由运算控制器（通常还要经
过功率放大）驱动步进电动机，通过精密传动机构，再带动工作台（或刀具）进行加工。
如果能保证不丢失脉冲，且能有效地抑制干扰的影响，再采用精密传动机构（如：滚珠
丝杆），这样，整个加工控制系统虽然为开环控制系统，但仍能达到相当高的加工精度。
常用的简易数控机床，即采用这种开环控制方式。



图 1-2 数控加工机床开环控制框图

图 1-2 为数控加工机床开环控制系统框图。此系统的输入量为加工程序指令，输
出量为机床工作台的位移量，系统的控制对象为工作台，执行机构为步进电动机和传动

机构。由图可见，此控制系统无反馈环节，输出量并不返回来影响控制部分，因此是开环控制系统。

2、开环控制系统的优缺点：

如果控制系统的组成元件特性和参数值比较稳定，而且外部的环境干扰也比较小时，这种控制系统也可以保证一定的精度。开环控制系统比较容易建造，结构也比较简单。

但是如果由于某种外在环境干扰，使得控制系统的输出量偏高期望值时，并且此控制系统没有纠正偏差的能力，则需要借助人工改变输入量、进行补偿，所以开环控制系统的精度较差。

3、闭环控制系统

如果控制系统的输入与输出之间存在反馈通道时，即控制系统的输出对控制作用有直接影响的系统称为闭环系统。如：载具搬运伺服控制系统、胶纸定位输送伺服控制系统等。

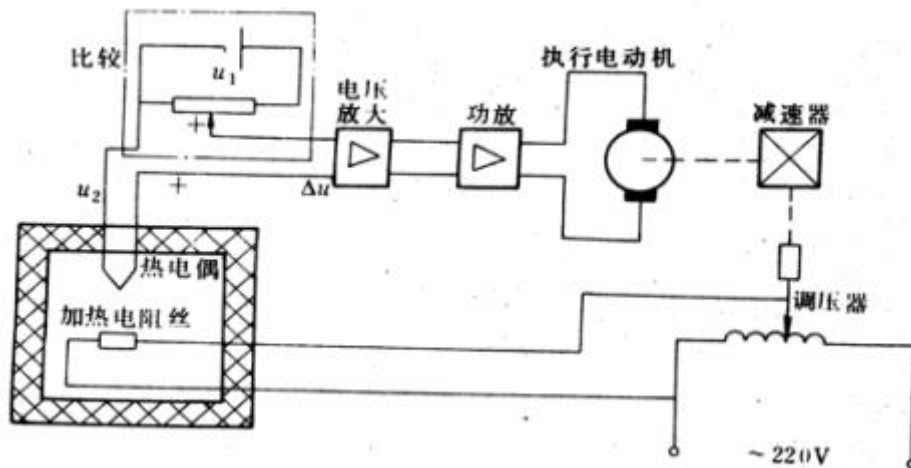


图 1-3 恒温箱的温度控制

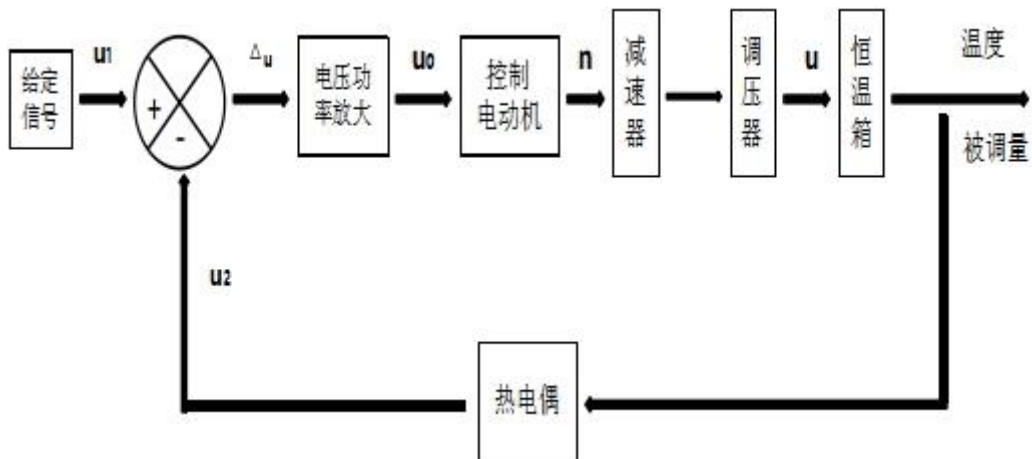


图 1-4 恒温箱温度自动控制系统职能方块图

图 1-3 恒温箱的温度是由给定信号电压控制的，当外界因素引起箱内温度变化时，作为测量温度元件的热电偶，把温度转换成对应的电压信号 u_2 ，并反馈回去与给定信号 u_1 相比较，所得结果即为温度偏差信号：

$$\Delta U = U_1 - U_2$$

经过电压、功率放大后，用以改变执行电动机的转速和方向，并通过传动装置拖动调压器调节触头。

当温度偏高时，动触头向着减小电流的方向运动；反之加大电流，直到温度达到给定值为止。即只有在无偏差信号时，电动机才停转，这样就完成了所要求的控制任务，而所有这些装置便组成了一个自动控制系统。

图 1-4 恒温箱温度自动控制系统职能方块图，图中 u 代表比较元件，箭头代表作用的方向。从图中可以看到反馈控制的基本原理，也可以看到各职能环节的作用是单向的，每个环节的输出是受输入控制的，即输出量要返回来参与控制、产生对系统起控制作用的控制信号。这种输出量能给控制过程以直接影响的控制信号，为闭环控制系统。

4、闭环控制系统的优缺点

闭环控制系统突出的优点是存在反馈环节，如果控制系统内外有干扰，而使输出的实际值偏离给定值时，控制系统将会依据反馈环节的反馈量，减少这一偏差，因而精度高。

缺点也是存在反馈环节，如果控制系统中元件有惯性、以及与其配合不当时，将引起系统振荡、不能稳定工作。闭环系统在设计时着重考虑控制系统的稳定性问题。

闭环控制系统与开环控制系统相比较，闭环控制系统抗干扰能力更强，对外扰动（如负载变化）和内扰动（系统内元件性能的变动）引起被控量（输出）的偏差能够自动纠正，而开环控制系统则无此纠正能力。因此，一般而言，闭环控制系统较开环控制系统的精度更高。但是，由于开环控制系统没有反馈环节，因而硬件结构较简单，控制的实现较容易。闭环控制系统在设计时要着重考虑控制系统稳定性问题，这给设计与制造系统带来许多困难。闭环控制系统主要用于要求高而复杂的自动化控制系统中。

从自动化控制理论的角度，主要是研究闭环控制系统，也就是研究反馈控制理论与方法。但是，对于机械系统的动特性，大多为开环控制系统，因此开环控制系统的研究也是很重要的。

由于反馈控制系统是完整而典型的自动化控制系统，继上面介绍的基本概念之后，这里再将其基本组成及有关名词术语叙述如下，以便加深及全面理解自动化控制系统。

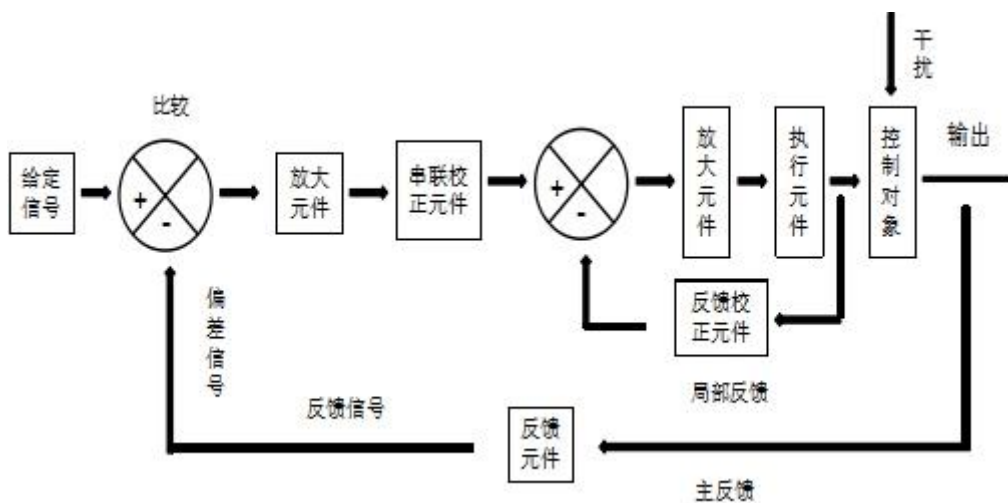


图 1-5 典型的反馈控制系统方块图

反馈元件：产生与输出量有一定函数关系的反馈信号，这种反馈信号可以是输出量本身，也可以是它的函数或导数。如：图 1-3 中的热电偶。

比较元件：用来比较输入信号与反馈信号之间的偏差，它可以是自整角度机、旋转变压器、机械式差动装置等物理比较元件，也可以是如图 1-3 中所示的比较电路，所以有时我们也称之为比较环节。

放大元件：对偏差信号进行信号放大和功率放大的元件。



执行元件：直接对控制对象进行操作的元件，如图 1-3 中的执行电动机。

控制对象：控制系统中所要操纵的对象，即负载，它的输出量即为系统的输出（被控制量）。

校正元件或称校正装置：用以稳定控制系统，提高性能，常用的有反馈校正和串联校正两种校正形式。

四、控制系统的基本要求

自动化控制系统因用于不同的领域，要求也往往不一样。但自动化控制技术是研究各类控制系统共同规律的一门技术，对控制系统有一个共同的要求，一般可归结为稳定、准确、快速。

1、稳定性

由于控制系统存在着惯性，当控制系统的各个参数分配不当时，将会引起控制系统的振荡而降低工作能力。稳定性就是指动态过程的振荡倾向和控制系统能够恢复平衡状态的能力，输出量偏离平衡状态后应该随着时间收敛并且最后回到初始的平衡状态，稳定性的要求是控制系统工作的首要条件。

2、准确性

指在控制系统调整过程结束后输出量与给定的输入量之间的偏差，或称为稳态误差，这也是衡量系统工作性能的重要指标。如：数控机床稳态误差越小，则加工精度就越高，而一般恒温和恒速系统的稳态误差都可在给定值以内。

3、快速性

这是在控制系统稳定的前提下提出的。快速性是指控制系统输出量与给定的输入量之间产生偏差时，消除这种偏差过程的快速程度。

由于受控制对象的具体情况不同，各种控制系统对稳、准、快的要求各有侧重。例如，伺服控制系统对快速性要求较高，而调速控制系统则对稳定性有较严格的要求。

在同一控制系统中，稳、准、快是相互制约的。控制系统的快速性好，控制系统可能会有强烈振荡；改善控制系统的稳定性，控制过程又可能过于迟缓，精度也可能变差。分析和解决这些矛盾，也是自动化控制原理要讨论的重要内容。对于机械传动控制系统来说，首要的是稳定性，因为过大的振荡将会使部件过载而损坏。此外要防止自振、降低噪声、增加刚度等，这些都是控制工程理论研究的中心问题。



五、控制系统的分类

(1) 按照控制系统是否设有反馈环节来进行分类，可分为开环控制系统和闭环控制系统。

(2) 按照输入量特征分类，可分为恒值控制系统、程序控制系统和伺服控制系统。

(3) 按照系统传输信号对时间的关系分类，可分为连续控制系统和离散控制系统。

1、恒值控制系统

这种控制系统的输入量是一个恒定值，一经给定，在运行过程中就不再改变（但可定期校准或更改输入量）。恒值控制系统的任务是保证在任何扰动作用下，控制系统的输出量为恒值。工业生产中的温度、压力、流量、液面等参数的控制；有些电动机的速度控制；加工机床的进给量控制，电力系统的电网电压、频率控制等，均属此类。

2、程序控制系统

这种系统的输入量不为常值，但其变化规律是预先知道和确定的。可以预先将输入量的变化规律编成程序，由该程序发出控制指令，在输入装置中再将控制指令转换为控制信号，经过全控制系统的作用，使被控对象按指令的要求运动。如：计算机绘图就是典型的程序控制系统。

工业制造中的过程控制系统按制造工艺的要求编制成特定的程序，由计算机来实现其控制，这就是近年来迅速发展起来的数字程序控制系统和计算机控制系统。微处理器控制将程序控制系统推向了更普遍的发展阶段。

3、伺服控制系统

又称随动控制系统，主要是一些控制机械位移和速度的系统。这种系统的输入量的变化规律是不能预先确定的。当输入量发生变化时，则要求输出量也迅速、平稳地跟着变化，且能排除各种干扰因素的影响、准确地复现控制信号的变化规律。控制指令可以由操作者根据需要随时发出，也可以由目标或相应的测量装置发出。如：武器装备中的火炮自动瞄准系统、导弹目标自动跟踪系统等均属于伺服控制系统。

4、连续控制系统

控制系统中各部分传递信号都是连续时间变量的系统，称为连续控制系统。



5、离散控制系统

近年来，计算机用于控制系统已日益增多。由于计算机只能接受和处理数字信号，如果给定的信号和反馈的信号都是连续信号，就需要采取脉冲采样来实现对系统的控制。这种控制系统中某一处或数处的信号是以脉冲序列或数码的形式传递的系统，称为离散控制系统。

【思考与练习题】

一、填空题。

(1) 控制系统的基本要求，一般可归结为()、()、()。

二、简述题。

(1) 什么叫做开环控制，及其优缺点？

(2) 什么叫做闭环控制、及其优缺点？

(3) 名词解释：什么是反馈元件、比较元件、放大元件、执行元件、控制对象？



第二章 自动化控制系统常用电气元件

【教学目标】

- (1) 熟悉控制开关、断路器、继电器、接触器、熔断器、传感器的外形及结构。
- (2) 掌握自动化控制常用电气元件的工作原理及线路的连接。
- (3) 掌握常用电气元件功能检测的方法。
- (4) 熟练进行常用电气元件的维修和更换。

第一节 开关

一、按钮开关

按钮开关是利用按钮推动传动机构，使动触点与静触点接通或断开、并实现电路转换的开关，它结构简单，用途广泛。

按钮开关根据结构可分为：普通按钮式、蘑菇头式、自复位式、自锁式、旋柄式、带指示灯式、钥匙式等。



图 2-1 按钮开关实物

二、按钮开关的类型：

- (1) 动断按钮:常态下，开关触点是常闭状态，按下即断开。
- (2) 动合按钮:常态下，开关触点是常开状态，按下即闭合。
- (3) 动合动断按钮:常态下，有两组触点，一组按下是分开，一组按下是断开。
- (4) 保护式按钮:带保护外壳，可以防止按钮内部零件损坏和防止人员触电。
- (5) 带灯按钮:按钮内部装有信号灯，除了动作外还可以作信号指示。
- (6) 防爆式按钮:可以在含有爆炸性气体与尘埃的场所使用。
- (7) 防水式按钮:带密封外壳，可以防止水分侵入。

- (8) 紧急式按钮:有红色大蘑菇头, 突出装置外, 用作紧急停止电源的作用。
- (9) 开启式按钮:用于嵌装固定在操作面板上的按钮。
- (10) 联锁式按钮:具有多个触点互相联锁。
- (11) 旋转式按钮:用把手旋转, 操作触点。
- (12) 钥匙式按钮:用钥匙插入, 旋转进行操作, 可防止无关人员操作设备。
- (13) 组合式按钮:有多个按钮组合的一种按钮。

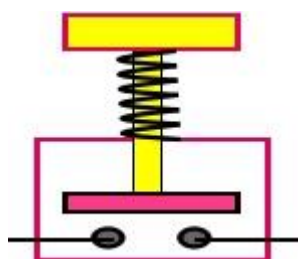
我们应该根据使用场合的工作情况选择按钮类型, 例如: 防爆车间, 应该使用防爆按钮; 重要设备为了防止无关人员误操作应该选用钥匙式。按工作状态选择按钮的颜色, 例如: 启动用绿色, 停止用红色。根据控制电路的情况选择单按钮或多联按钮。



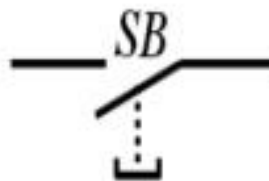
图 2-2 选择开关实物



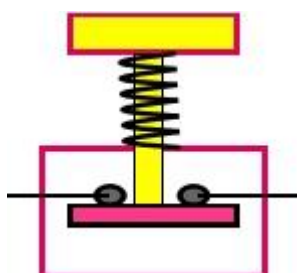
图 2-3 急停开关实物



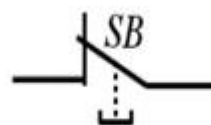
常开(动合)按钮



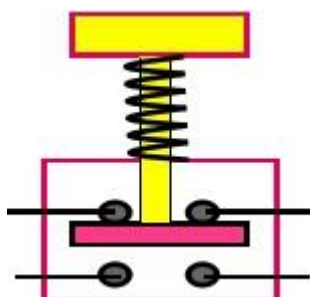
电路符号



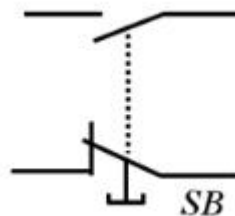
常闭(动断)按钮



电路符号



复合按钮



电路符号

图 2-4 按钮开关的结构及符号

二、行程开关

作用：用作电路的限位保护、行程控制、自动切换等。

特点：结构与按钮类似，但其动作要由机械撞击触发。



图 2-5 行程开关实物

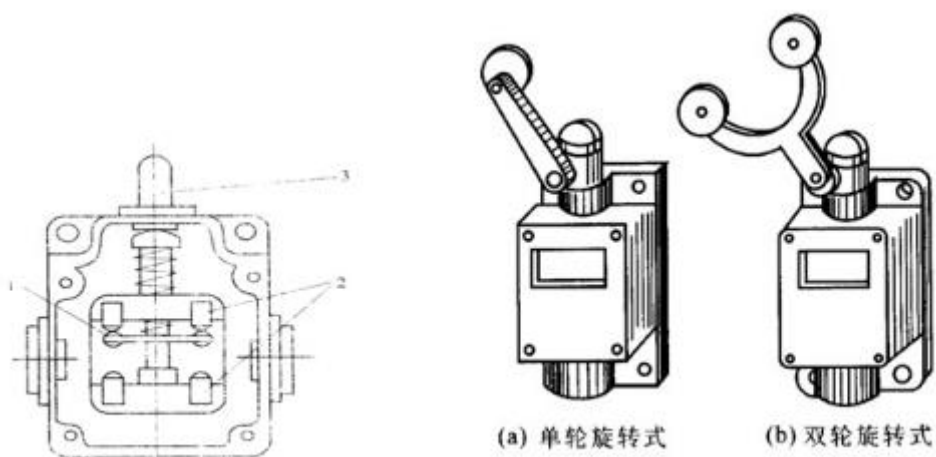


图 2-6 行程开关结构



常开（动合）触头



常闭（动断）触头



图 2-7 行程开关电路符号

第二节 隔离开关

一、隔离开关的基本概述

我们所说的隔离开关，一般指的是高压隔离开关，即额定电压在 1kV 及其以上的隔离开关。高压开关电器中使用最多的一种电器，在电路中起隔离作用。



图 2-8 隔离开关实物及符号

低压电气设备进行维修时，需要切断电源，使维修部分与带电部分脱离，并保持有效的隔离距离，要求在其分断口间能承受过电压的耐压水平。刀开关即作



为隔离电源的开关电器，隔离电源的刀开关亦称作隔离开关，隔离用刀开关一般属于无载通断电器。

二、隔离开关的主要特点

- (1) 无灭弧能力，只能在没有负荷电流的情况下分、合电路。
- (2) 一般送电操作时，先合隔离开关，后合断路器或负荷类开关。
- (3) 断电操作时，先断开断路器或负荷类开关，后断开隔离开关。

三、隔离开关的功能作用

- (1) 用于隔离电源，将高压检修设备与带电设备断开，使其间有一明显可看见的断开点。
- (2) 隔离开关与断路器配合，按系统运行方式的需要进行倒闸操作，以改变系统运行接线方式。
- (3) 用以接通或断开小电流电路。

第三节 断路器

一、断路器的基本概念

断路器是能够关合、承载和开断正常回路条件下的电流，在规定的时间内承载和开断异常回路条件（包括短路条件）下的电流的开关装置。



图 2-9 断路器实物及符号

断路器可用来分配电能，不频繁地启动异步电动机，对电源线路及电动机等实行保护，当它们发生严重的过载或者短路及欠压等故障时能自动切断电路，其功能相当于熔断器式开关与过热继电器等的组合。断路器一般由触头系统、灭弧系统、操作机构、脱扣器、外壳等构成。断路器按其构造分为微型断路器、塑壳断路器和框架式断路器。

二、断路器的作用

切断和接通负荷电路，以及切断故障电路，防止事故扩大，保证安全运行。

低压断路器也称为自动空气开关，可用来接通和分断负载电路，也可用来控制不频繁起动的电动机。它的功能相当于闸刀开关、过电流继电器、失压继电器、热继电器及漏电保护器等电器部分或全部的功能总和，是低压配电网中一种重要的保护电器。

低压断路器具有多种保护功能（过载、短路、欠电压保护等）、动作值可调、分断能力高、操作方便、安全等优点，所以目前被广泛应用。

低压断路器由操作机构、触点、保护装置（各种脱扣器）、灭弧系统等组成。



图 2-10 断路器控制三相电机图

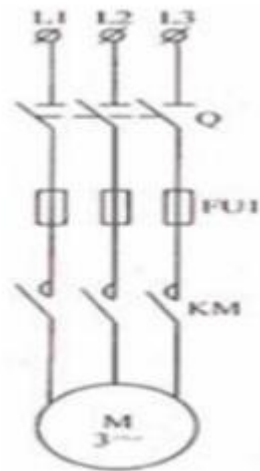


图 2-11 断路器控制三相电机电路图

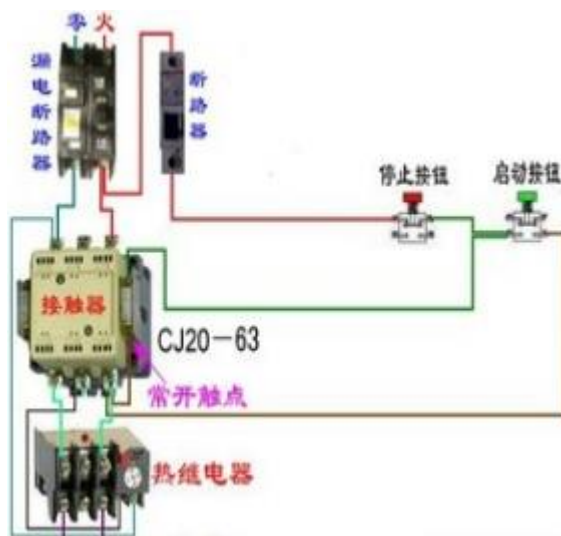


图 2-12 漏电断路器的应用接线图

三、断路器的工作原理

当短路时，大电流产生的磁场克服反力弹簧，脱扣器拉动操作机构动作，开关瞬时跳闸。

当过载时，电流变大，发热量加剧，双金属片变形到一定程度推动机构动作（电流越大，动作时间越短）。

低压断路器的主触点是靠手动操作或电动合闸的。主触点闭合后，自由脱扣机构将主触点锁在合闸位置上。过电流脱扣器的线圈和热脱扣器的热元件与主电路串联，欠电压脱扣器的线圈和电源并联。当电路发生短路或严重过载时，过电流脱扣器的衔铁吸合，使自由脱扣机构动作，主触点断开主电路。

当电路过载时，热脱扣器的热元件发热使双金属片向上弯曲，推动自由脱扣机构动作。当电路欠电压时，欠电压脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。

现在有电子型的，使用互感器采集各相电流大小，与设定值比较，当电流异常时微处理器发出信号，使电子脱扣器带动操作机构动作。

四、断路器的参数

额定工作电压（ U_e ）：这是断路器在正常（不间断）的情况下工作的电压。

额定电流（ I_n ）：配有专门的过电流脱扣继电器的断路器，在制造厂家规定的环境温度下所能无限承受的最大电流值。

断路器的额定短路分断能力（ I_{cs} ）：断路器的额定分断能力，分为额定极限短路分断能力和额定运行短路分断能力两种。



第四节 继电器

一、继电器的基本概述

用于控制与保护电路中作信号转换用的电器。具有输入电路（感应元件）和输出电路（执行元件），当感应元件中的输入量（如：电流、电压、温度、压力等）变化到某一定值时，继电器动作，执行元件便接通和断开控制回路。继电器用于控制电路，流过触点的电流小，一般不需要灭弧装置。



图 2-13 继电器实物及符号

二、继电器的重要参数

(1) 吸合时间:

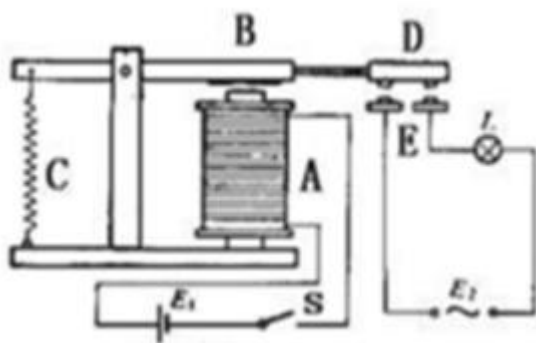
线圈接受电信号到衔铁完全吸台所需的时间。

(2) 释放时间:

线圈失电到衔铁完全释放所需的时间。

三、继电器工作原理

当输入量(如:电压、电流、温度等)达到规定值时,使被控制的输出电路导通或断开。继电器可分为电气量(如:电流、电压、频率、功率等)继电器和非电气量(如:温度、压力、速度等)继电器两大类。继电器具有动作快、工作稳定、使用寿命长、体积小等优点。



控制电路 工作电路

图 2-14 继电器工作原理图

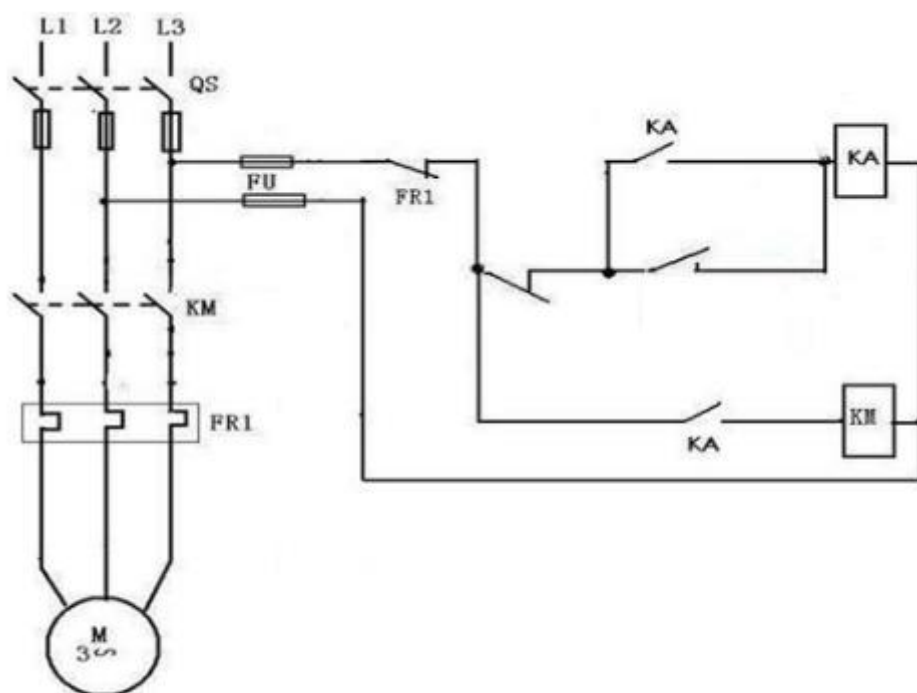


图 2-15 继电器控制电路图

五、常用继电器

常用的继电器有：中间继电器、时间继电器、热继电器、电流继电器、电压继电器、温度继电器、压力继电器、计数继电器、频率继电器等。



图 2-16 中间继电器实物



图 2-17 时间继电器实物



图 2-18 压力继电器实物

1、中间继电器：

本质上是一种电压继电器，工作原理与接触器相同。触点系统中没有主、辅触点之分，触点容量相同。



图 2-19 中间继电器实物

电动机额定电流不超过 5A 的电气控制系统，可以用电压继电器代替接触器来控制。

2、中间继电器的作用：

(1) 当电压或电流继电器触点容量不够时，可借助中间继电器来控制，用中间继电器作为执行元件。

(2) 触点数量较多，能够将一个输入信号变成多个输出信号，当其他继电器或接触器触点数量不够时，可利用中间继电器来切换多条控制电路。

2、固态继电器

由固体半导体元件组成的无触点开关器件。

优点：工作可靠、寿命长、对外界干扰小、能与逻辑电路兼容、抗干扰能力强、开关速度快、无火花、无动作噪音、使用方便等。

缺点：过载能力低，易受温度和辐射影响。

应用：有逐步取代传统电磁继电器的趋势，还可应用于计算机的输入输出接口、外围和终端设备等传统电磁继电器无法应用的领域。

四端有源器件：两个输入控制端，两个输出受控端。施加输入信号后，其输出呈导通状态，无信号时输出呈阻断状态。

耐高压的光电耦合：实现输入和输出之间的电气隔离。

直流固态继电器：输出采用晶体管。

交流固态继电器：输出采用晶闸管。

主要参数：输入电压、输入电流；输出电压、输出电流、输出漏电流等。



图 2-20 固态继电器实物

3、时间继电器

继电器感应元件接受外界信号后，经过设定的延时时间才使执行部分动作的继电器。

类型：通电延时、断电延时、带瞬动触点通电（断电）延时。

触点：常开延时闭合、常闭延时断开、常开延时断开、常闭延时闭合

空气阻尼式：

- （1）包括电磁机构、工作触点及气室三部分，靠空气阻尼作用实现延时。
- （2）延时范围较宽、结构简单、工作可靠、价格低廉、寿命长。
- （3）延时时间有 0.4~180s 和 0.4~60s 两种规格。

电动式：

- （1）包括同步电动机、减速齿轮机构、电磁离合系统及执行机构。
- （2）延时时间长，可达数十小时，延时精度高。
- （3）结构复杂，体积较大。

电子式时间继电器：

- (1) 数字计数式，包括脉冲发生器、计数器、显示器、放大器及执行机构。
- (2) 延时时间长、调节方便、精度高、应用广。
- (3) 可取代阻容式、空气阻尼式、电动式等时间继电器。



图 2-21 电子式时间继电器实物

4、热继电器

专门用来对连续运行的电动机进行过载及断相保护，防止电动机过热而烧毁的保护电器。



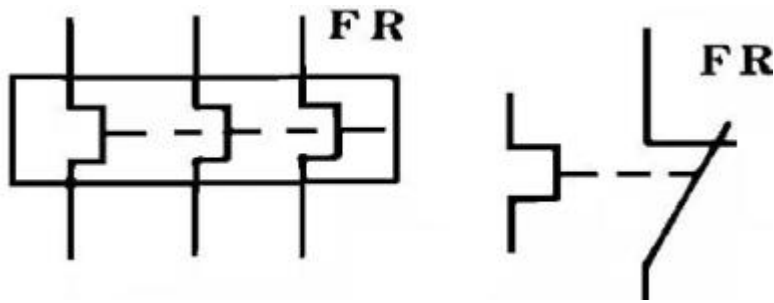


图 2-22 热继电器实物及符号

1、热继电器的组成及工作原理：

(1) 由双金属片、加热元件、动作机构、触点系统、整定调整装置及手动复位装置等组成。

(2) 双金属片为温度检测元件，由两种膨胀系数不同的金属片压焊而成，它被加热元件加热后，因两层金属片伸长率不同而弯曲。

(3) 加热元件串接在电动机定子绕组中，电动机正常运行时，热元件产生的热量不会使触点系统动作；当电动机过载，流过热元件的电流加大，经过一定的时间，热元件产生的热量使双金属片的弯曲程度超过一定值，通过导板推动热继电器的触点动作（常开触点闭合，常闭触点断开）。

(4) 通常用其常闭触点与接触器线圈电路串联，切断接触器线圈电流，使电动机主电路失电。故障排除后，手动复位热继电器触点可以重新接通控制电路。

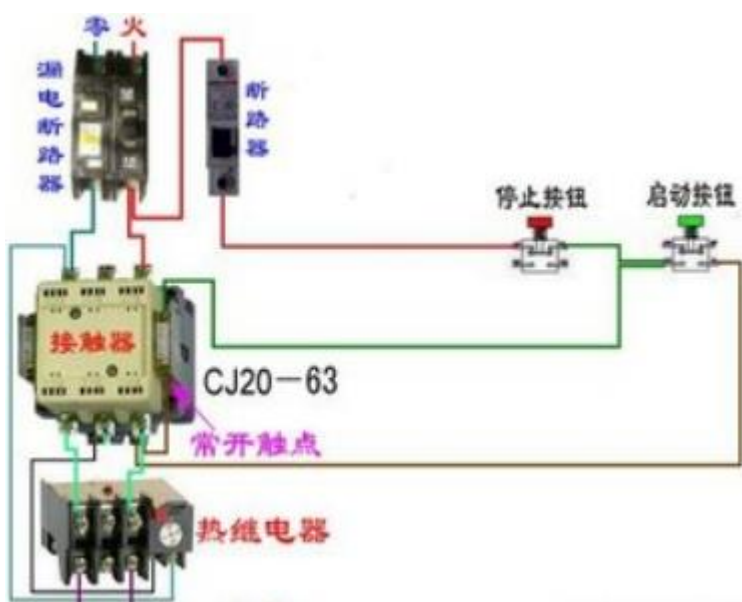


图 2-23 热继电器应用接线图

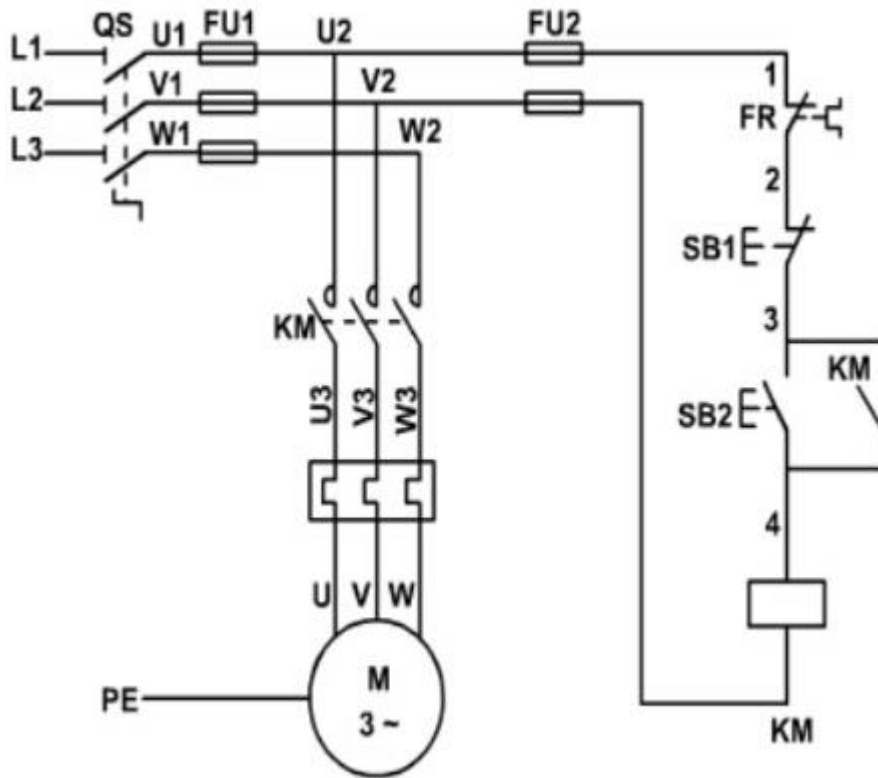


图 2-24 热继电器应用电路图

2、热继电器主要参数：

- (1) 热继电器额定电流：热继电器中可以安装的热元件的最大整定电流值。
- (2) 热元件额定电流：热元件的最大整定电流值。
- (3) 热继电器整定电流：热元件能够长期通过而不致引起热继电器动作的最大电流值。通常热继电器的整定电流是按电动机的额定电流整定的。
- (4) 热继电器整定电流调节范围：手动调节整定电流旋钮，通过偏心轮机构，调整双金属片与导板的距离，能够调节的电流整定值的范围。

5、速度继电器

用于转速的检测，常用在三相交流异步电动机反接制动转速接近零时，自动切除反相序电源。



图 2-25 速度继电器实物

转子：由一块永久磁铁制成，与电动机同轴相联，用以接受转动信号。

圆环（笼型空心绕组）：转子（磁铁）旋转时，笼型绕组切割转子磁场产生感应电动势，形成环内电流，此电流与磁铁磁场相作用，产生电磁转矩，圆环在此力矩的作用下带动摆杆，克服弹簧力而顺转子转动的方向摆动，并拨动触点改变其通断状态。

触点：在摆杆左右各设一组切换触点，分别在速度继电器正转和反转时发生作用。调节弹簧弹力时，可使速度继电器在不同转速时切换触点改变通断状态。

动作转速一般不低于 120 r/min，复位转速约在 100 r/min 以下。

工作时，允许的转速高达 1000~3600r/min。正转和反转切换触点的动作，反映电动机转向和速度的变化。

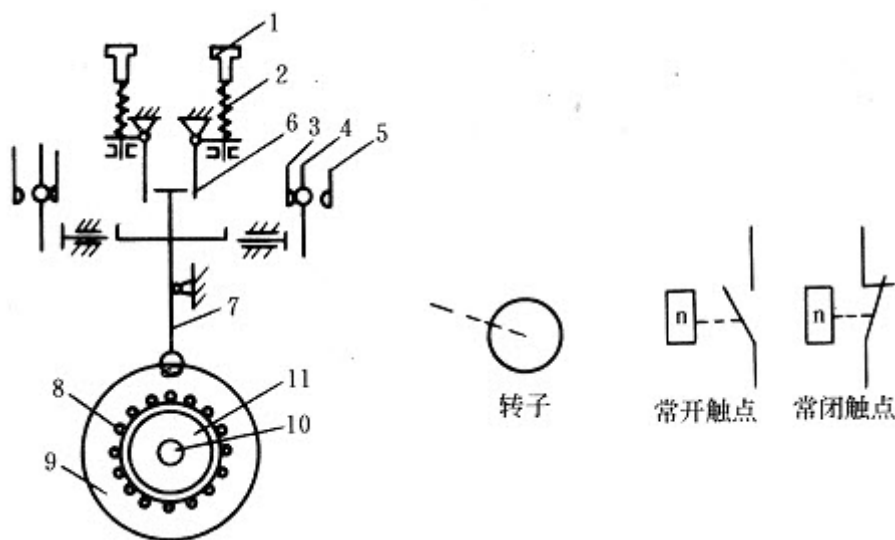


图 2-26 速度继电器工作原理图

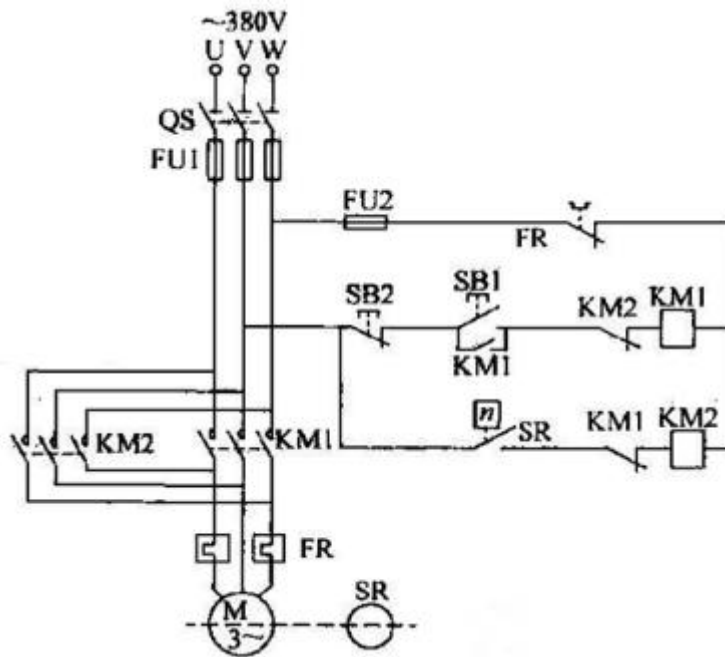


图 2-27 速度继电器应用接线图

6、电流继电器

根据输入（线圈）电流大小而动作的继电器。



图 2-28 电流继电器实物

(1) 过电流继电器：当电路发生短路及过流时立即将电路切断。

- ① 线圈电流小于整定电流时，继电器不动作。
- ② 线圈电流超过整定电流时，继电器才动作。
- ③ 动作电流整定范围：交流为(110%~350%) I_N ，直流为(70%~300%) I_N 。

(2) 欠电流继电器：当电路电流过低时立即将电路切断。

①线圈电流大于或等于整定电流时，继电器吸合。

②线圈电流低于整定电流时，继电器释放。

③动作电流整定范围：吸合电流为(30%~50%) I_N ，释放电流为(10%~20%) I_N 。

① 一般自动复位。

7、电压继电器

根据输入（线圈）电压大小而动作的继电器。



图 2-29 电压继电器实物

(1) 过电压继电器：动作电压整定范围为(105%~120%) U_N 。

(2) 欠电压继电器：吸合电压调整范围为(30%~50%) U_N ，释放电压调整范围为(7%~20%) U_N 。

第五节 接触器

一、接触器的基本概念

接触器分为交流接触器（电压 AC）和直流接触器（电压 DC），它应用于电力、配电与用电场合。接触器广义上是指工业电中利用线圈流过电流产生磁场，使触头闭合，以达到控制负载的电器。

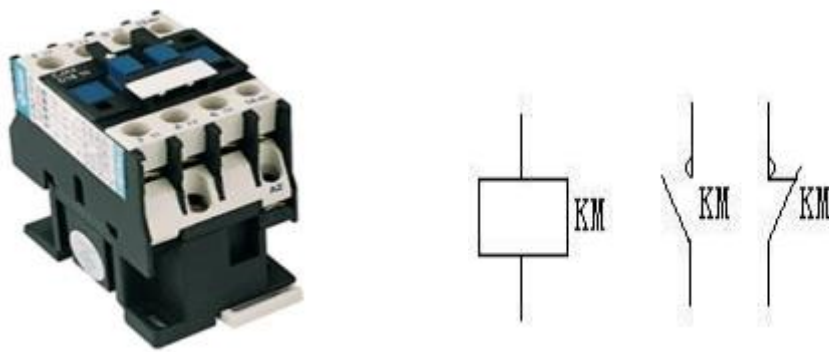


图 2-30 接触器实物及符号

二、接触器的作用

1. 可频繁地接通与大电流控制（达 800A）电路的装置，所以经常运用于电动机做为控制对象，也可用作控制工厂设备、电热器、各样电力机组等电力负载，接触器不仅能接通和切断电路，而且还具有低电压释放保护作用。

2. 接触器控制容量大，适用于频繁操作和远距离控制，是自动控制系统中的重要元件之一。在工业电气中，接触器的型号很多，工作电流在 5A-1000A 的不等，其用处相当广泛。

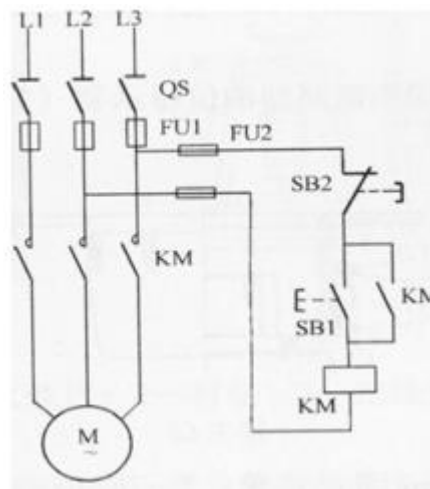


图 2-31 接触器控制电机的电路图

三、接触器的工作原理

当接触器线圈通电后，线圈电流会产生磁场，产生的磁场使静铁芯产生电磁吸力、吸引动铁芯，并带动交流接触器的触点动作，常闭触点断开，常开触点闭合，两者是联动的。当线圈断电时，电磁吸力消失，衔铁在释放弹簧的作用下释放，使触点复原，常开触点断开，常闭触点闭合。

四、市场主要接触器品牌

(1) 进口品牌：西门子，施耐德，ABB 等。

(2) 国产品牌：正泰，德力西等。

在价格方面，西门子比施耐德稍微贵点，正泰比德力西稍微贵点。进口是国产的大概两倍左右（型号不同差距更大）。进口推荐施耐德，感觉设计的合理，使用也方便。国产推荐正泰，质量还可以。产品的优劣主要是表现在耐用和性能稳定性。如果用非常重要的昂贵的设备，建议用施耐德、西门子、ABB，原因还是性能稳定，耐用。



图 2-32 接触器实物

第六节 熔断器

一、熔断器的基本概念

熔断器是根据电流超过规定值一段时间后，以其自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开，运用这种原理制成的一种电流保护器。熔断器广泛应用于高低压配电系统和控制系统以及用电设备中，作为短路和过电流的保护器，是应用最普遍的保护器件之一。

熔断器主要由熔体和熔管以及外加填料等部分组成。

熔断器具有反时延特性，当过载电流小时，熔断时间长；过载电流大时，熔断时间短。因此，在一定过载电流范围内至电流恢复正常，熔断器不会熔断，可以继续使用。



图 2-33 熔断器实物



图 2-34 熔断器实物及符号

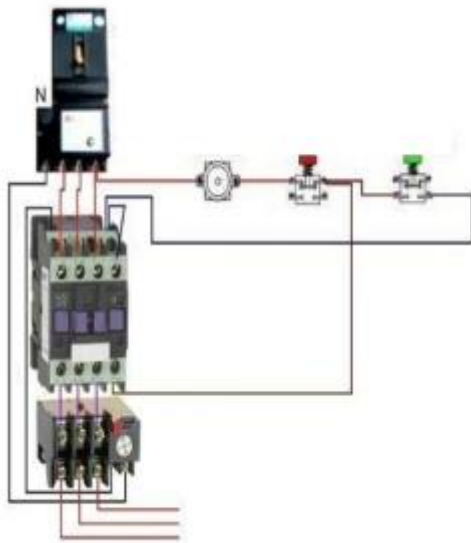


图 2-35 熔断器应用实物接线图

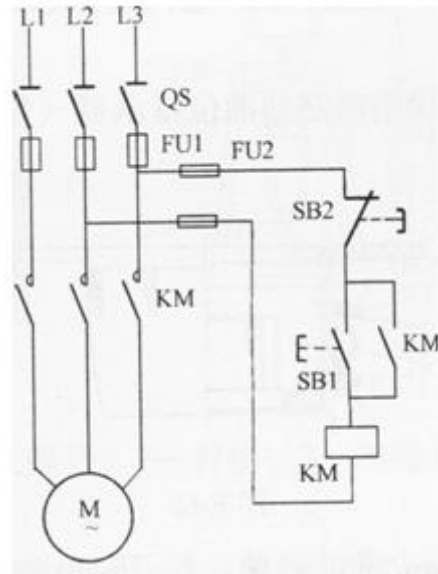


图 2-36 熔断器应用电路图

二、熔断器的工作原理

利用金属导体作为熔体串联于电路中，当过载或短路电流通过熔体时，因其自身发热而熔断，从而分断电路。熔断器结构简单，使用方便，广泛用于电力系统、各种电工设备和家用电器中作为保护器件。

熔体额定电流不等于熔断器额定电流，熔体额定电流按被保护设备的负荷电流选择，熔断器额定电流应大于熔体额定电流，与主电器配合确定。

熔断器主要由熔体、外壳和支座 3 部分组成，其中熔体是控制熔断特性的关键元件。熔体的材料、尺寸和形状决定了熔断特性。熔体材料分为低熔点和高熔点两类。低熔点材料如铅和铅合金，其熔点低容易熔断，由于其电阻率较大，故制成熔体的截面尺寸较大，熔断时产生的金属蒸气较多，只适用于低分断能力的熔断器。高熔点材料如铜、银，其熔点高，不容易熔断，但由于其电阻率较低，可制成比低熔点熔体较小的截面尺寸，熔断时产生的金属蒸气少，适用于高分断能力的熔断器。熔体的形状分为丝状和带状两种。改变变截面的形状可显著改变熔断器的熔断特性。

熔断器安装在电路中，保证电路安全运行。当电路发生故障或异常时，伴随着电流不断升高，并且升高的电流有可能损坏电路中的某些重要器件或贵重器件，也有可能烧毁电路甚至造成火灾。若电路中正确地安置了熔断器，那么，熔断器就会在电流异常升高到一定的高度，自身熔断切断电流，从而起到保护电路安全运行的作用。



三、熔断器的级间配合

为防止发生越级熔断、扩大事故范围，上、下级（即供电干、支线）线路的熔断器间应有良好配合。选用时，应使上级（供电干线）熔断器的熔体额定电流比下级（供电支线）的大1~2个级差。常用的熔断器有管式熔断器R1系列、螺旋式熔断器RL1系列、填料封闭式熔断器RT0系列及快速熔断器RS0、RS3系列等。

四、注意事项

（1）熔断器使用注意事项：

①熔断器的保护特性应与被保护对象的过载特性相适应，考虑到可能出现的短路电流，选用相应分断能力的熔断器。

②熔断器的额定电压要适应线路电压等级，熔断器的额定电流要大于或等于熔体额定电流。

③线路中各级熔断器熔体额定电流要相应配合，保持前一级熔体额定电流必须大于下一级熔体额定电流。

④熔断器的熔体要按要求使用相配合的熔体，不允许随意加大熔体或用其它导体代替熔体。

（2）熔断器巡视检查：

①检查熔断器和熔体的额定值与被保护设备是否相配合。

②检查熔断器外观有无损伤、变形，瓷绝缘部分有无闪烁放电痕迹。

③检查熔断器各接触点是否完好，接触紧密，有无过热现象。

④熔断器的熔断信号指示器是否正常。

（3）熔断器使用维修：

①熔体熔断时，要认真分析熔断的原因，可能的原因有：

短路故障或过载运行而正常熔断；熔体使用时间过久，熔体因受氧化或运行中温度高，使熔体特性变化而误断；熔体安装时有机械损伤，使其截面积变小而在运行中引起误断。

②拆换熔体时，要求做到：

安装新熔体前，要找出熔体熔断原因，未确定熔断原因，不要拆换熔体试送；更换新熔体时，要检查熔体的额定值是否与被保护设备相匹配；更换新熔体时，要检查熔断



管内部烧伤情况，如有严重烧伤，应同时更换熔管。瓷熔管损坏时，不允许用其他材质管代替。

③熔断器应与配电装置同时进行维修工作：

清扫灰尘，检查接触点接触情况；检查熔断器外观（取下熔断器管）有无损伤、变形，瓷件有无放电闪烁痕迹；检查熔断器，熔体与被保护电路或设备是否匹配，如有问题应及时调查；维护检查熔断器时，要按安全规程要求，切断电源，不允许带电摘取熔断器管。

拓展内容：熔断器的分类

（1）螺旋式熔断器 RL：

在熔断管里装有石英砂，熔体埋于其中，熔体熔断时，电弧喷向石英砂及其缝隙，可迅速降温而熄灭。为了便于监视，熔断器一端装有色点，不同的颜色表示不同的熔体电流，熔体熔断时，色点跳出，示意熔体已熔断。螺旋式熔断器额定电流为 5~200A，主要用于短路电流大的分支电路或有易燃气体的场所。

（2）有填料管式熔断器 RT：

有填料管式熔断器是一种有限流作用的熔断器。由填有石英砂的瓷熔管、触点和镀银铜栅状熔体组成。填料管式熔断器均装在特别的底座上，如带隔离刀闸的底座或以熔断器为隔离刀的底座上，通过手动机构操作。填料管式熔断器额定电流为 50~1000A，主要用于短路电流大的电路或有易燃气体的场所。

（3）无填料管式熔断器 RM：

无填料管式熔断器的熔丝管是由纤维物制成。使用的熔体为变截面的锌合金片。熔体熔断时，纤维熔管的部分纤维物因受热而分解，产生高压气体，使电弧很快熄灭。无填料管式熔断器具有结构简单、保护性能好、使用方便等特点，一般均与刀开关组成熔断器刀开关组合使用。

（4）有填料封闭管式快速熔断器 RS：

有填料封闭管式快速熔断器是一种快速动作型的熔断器，由熔断管、触点底座、动作指示器和熔体组成。熔体为银质窄截面或网状形式，熔体为一次性使用，不能自行更换。由于其具有快速动作性，一般作为半导体整流元件保护用。

熔断器根据使用电压可分为高压熔断器和低压熔断器；根据保护对象可分为保护变压器用和一般电气设备用的熔断器、保护电压互感器的熔断器、保护电力电容器的熔断器、保护半导体元件的熔断器、保护电动机的熔断器和保护家用电器的熔断器等。

根据结构可分为敞开式、半封闭式、管式和喷射式熔断器。



①敞开式熔断器结构简单，熔体完全暴露于空气中，由瓷柱作支撑，没有支座，适于低压户外使用。分断电流时在大气中产生较大的声光。

②半封闭式熔断器的熔体装在瓷架上，插入两端带有金属插座的瓷盒中，适于低压户内使用。分断电流时，所产生的声光被瓷盒挡住。

③管式熔断器的熔体装在熔断体内。然后插在支座或直接连在电路上使用。熔断体是两端套有金属帽或带有触刀的完全密封的绝缘管。这种熔断器的绝缘管内若充以石英砂，则分断电流时具有限流作用，可大大提高分断能力，故又称作高分断能力熔断器；若管内抽真空，则称作真空熔断器；若管内充以 SF₆ 气体，则称作 SF₆ 熔断器，其目的是改善灭弧性能。由于石英砂，真空和 SF₆ 气体均具有较好的绝缘性能，故这种熔断器不但适用于低压也适用于高压。

④喷射式熔断器是将熔体装在由固体产气材料制成的绝缘管内。固体产气材料可采用电工反白纸板或有机玻璃材料等。当短路电流通过熔体时，熔体随即熔断产生电弧，高温电弧使固体产气材料迅速分解产生大量高压气体，从而将电离的气体带电弧在管子两端喷出，发出极大的声光，并在交流电流过零时熄灭电弧而分断电流。绝缘管通常是装在一个绝缘支架上，组成熔断器整体。有时绝缘管上端做成可活动式，在分断电流后随即脱离而跌落，此种喷射式熔断器俗称跌落熔断器。一般适用于电压高于 6 千伏的户外场合。

此外，熔断器根据分断电流范围还可分为一般用途熔断器，后备熔断器和全范围熔断器。一般用途熔断器的分断电流范围指从过载电流大于额定电流 1.6~2 倍起，到最大分断电流的范围。这种熔断器主要用于保护电力变压器和一般电气设备。后备熔断器的分断电流范围指从过载电流大于额定电流 4~7 倍起至最大分断电流的范围。这种熔断器常与接触器串联使用，在过载电流小于额定电流 4~7 倍的范围时，由接触器来实现分断保护。主要用于保护电动机。

随着工业发展的需要，还制造出适于各种不同要求的特殊熔断器，如电子熔断器、热熔熔断器和自复熔断器等。

第七节 传感器

一、温度传感器

1、温度传感器的基本概述

温度传感器是指能感受温度并转换成输出信号的传感器。温度传感器是温度测量仪表的核心部分，品种繁多。按测量方式可分为接触式和非接触式两大类；按照传感器材料及电子元件特性分为热电阻和热电偶两类。



图 2-37 温度传感器实物



图 2-38 防爆温度传感器实物

2、温度传感器的分类

(1) 接触式

接触式温度传感器的检测部分与被测对象有良好的接触，又称温度计。

温度计通过传导或对流达到热平衡，从而使温度计的示值能直接表示被测对象的温度。

(2) 非接触式

它的敏感元件与被测对象互不接触，又称非接触式测温仪表。这种仪表可用于测量运动物体、小目标和热容量小、温度变化迅速（瞬变）对象的表面温度，也可用于测量温度场的温度分布。

非接触测温优点：测量上限不受感温元件耐温程度的限制，因而对最高可测温度原则上没有限制。对于 1800℃ 以上的高温，主要采用非接触测温方法。随着红外技术的发展，辐射测温逐渐由可见光向红外线扩展，700℃ 以下直至常温都已采用，且分辨率很高。



3、温度传感器的工作原理

(1) 金属膨胀原理设计的传感器

金属在环境温度变化后会产生一个相应的延伸，传感器可以以不同方式对这种反应进行信号转换。

(2) 双金属片式传感器

双金属片由两片不同膨胀系数的金属贴在一起而组成，随着温度变化，材料 A 比另外一种金属膨胀程度要高，引起金属片弯曲。弯曲的曲率可以转换成一个输出信号。

(3) 双金属杆和金属管传感器

随着温度升高，金属管（材料 A）长度增加，而不膨胀钢杆（金属 B）的长度并不增加，这样由于位置的改变，金属管的线性膨胀就可以进行传递。反过来，这种线性膨胀可以转换成一个输出信号。

4、温度系数

(1) 正温度系数

温度升高 = 阻值增加

温度降低 = 阻值减少

(2) 负温度系数

温度升高 = 阻值减少

温度降低 = 阻值增加

热电偶传感：

热电偶由两个不同材料的金属线组成，在末端焊接在一起。再测出不加热部位的环境温度，就可以准确知道加热点的温度。由于它必须有两种不同材质的导体，所以称之为热电偶。不同材质做出的热电偶使用于不同的温度范围，它们的灵敏度也各不相同。热电偶的灵敏度是指加热点温度变化 1℃ 时，输出电位差的变化量。对于大多数金属材料支撑的热电偶而言，这个数值大约在 5~40 微伏/℃ 之间。

由于热电偶温度传感器的灵敏度与材料的粗细无关，用非常细的材料也能够做成温度传感器。也由于制作热电偶的金属材料具有很好的延展性，这种细微的测温元件有极高的响应速度，可以测量快速变化的过程。

5、温度传感器的挑选方法



如果要进行可靠的温度测量，首先就需要选择正确的温度仪表，也就是温度传感器。其中热电偶、热敏电阻、铂电阻 (RTD) 和温度 IC 都是测试中最常用的温度传感器。

以下是对热电偶和热敏电阻两种温度仪表的特点介绍。

(1) 热电偶

热电偶是温度测量中最常用的温度传感器，其主要好处是宽温度范围和适应各种大气环境，而且结实、价低，无需供电，也是最便宜的。热电偶由在一端连接的两条不同金属线 (金属 A 和金属 B) 构成，当热电偶一端受热时，热电偶电路中就有电势差，可用测量的电势差来计算温度。

热电偶是最简单和最通用的温度传感器，但热电偶并不适合高精度的测量和应用。

(2) 热敏电阻

热敏电阻是用半导体材料，大多为负温度系数，即阻值随温度增加而降低。

温度变化会造成大的阻值改变，因此它是最灵敏的温度传感器。热敏电阻体积非常小，对温度变化的响应也快。但热敏电阻需要使用电流源，小尺寸也使它对自热误差极为敏感。

热敏电阻在两条线上测量的是绝对温度，有较好的精度，但它比热电偶贵，可测温度范围也小于热电偶。一种常用热敏电阻在 25℃ 时的阻值为 5kΩ，每 1℃ 的温度改变造成 200Ω 的电阻变化。10Ω 的引线电阻仅造成可忽略的 0.05℃ 误差。它非常适合需要进行快速和灵敏温度测量的电流控制应用。尺寸小对于有空间要求的应用是有利的，但必须注意防止自热误差。

热敏电阻还有其自身的测量技巧，热敏电阻体积小是优点，它能很快稳定，不会造成热负载，不过也因此很不结实，大电流会造成自热。由于热敏电阻是一种电阻性器件，任何电流源都会在其上因功率而造成发热，功率等于电流平方与电阻的积。因此要使用小的电流源，如果热敏电阻暴露在高热中，将导致永久性的损坏。

二、光电传感器

1、光电传感器的基本概述

光电传感器是采用光电元件作为检测元件的传感器。它首先把被测量的变化转换成光信号的变化，然后借助光电元件进一步将光信号转换成电信号。光电传感器一般由光源、光学通路和光电元件三部分组成。



图 2-39 槽型光电传感器实物



图 2-40 反射型光电传感器实物



图 2-41 对射型光电传感器实物

光电传感器一般由处理通路和处理元件两部分组成。其基本原理是以光电效应为基础，把被测量的变化转换成光信号的变化，然后借助光电元件进一步将非电信号转换成电信号。光电效应是指用光照射某一物体，可以看作是一连串带有一定能量的光子轰击在这个物体上，此时光子能量就传递给电子，并且是一个光子的全部能量一次性地被一个电子所吸收，电子得到光子传递的能量后其状态就会发生变化，从而使受光照射的物体产生相应的电效应。

2、光电传感器工作原理



由光通量对光电元件的作用原理不同所制成的光学测控系统是多种多样的,按光电元件(光学测控系统)输出量性质可分二类,即模拟式光电传感器和脉冲(开关)式光电传感器。模拟式光电传感器是将被测量转换成连续变化的光电流,它与被测量间呈单值关系。模拟式光电传感器按被测量(检测目标物体)方法可分为透射(吸收)式,漫反射式,遮光式(光束阻挡)三大类。所谓透射式是指被测物体放在光路中,恒光源发出的光能量穿过被测物,部份被吸收后,透射光投射到光电元件上;所谓漫反射式是指恒光源发出的光投射到被测物上,再从被测物体表面反射后投射到光电元件上;所谓遮光式是指当光源发出的光通量经被测物光遮其中一部份,使投射到光电元件上的光通量改变,改变的程度与被测物体在光路位置有关。

光敏二极管是最常见的光传感器。光敏二极管的外型与一般二极管一样,当无光照时,它与普通二极管一样,反向电流很小,称为光敏二极管的暗电流;当有光照时,载流子被激发,产生电子空穴,称为光电传感器载流子。在外电场的作用下,光电载流子参与导电,形成比暗电流大得多的反向电流,该反向电流称为光电流。光电流的大小与光照强度成正比,于是在负载电阻上就能得到随光照强度变化而变化的电信号。

光敏三极管除了具有光敏二极管能将光信号转换成电信号的功能外,还有对电信号放大的功能。光敏三极管的外型与一般三极管相差不大,一般光敏三极管只引出两个极—发射极和集电极,基极不引出,管壳同样开窗口,以便光线射入。为增大光照,基区面积做得很大,发射区较小,入射光主要被基区吸收。工作时集电结反偏,发射结正偏。在无光照时管子流过的电流为暗电流,比一般三极管的穿透电流还小;当有光照时,激发大量的电子空穴对,使得基极产生的电流 I_b 增大,此刻流过管子的电流称为光电流,发射极电 $I_e = (1 + \beta) I_b$,可见光电三极管要比光电二极管具有更高的灵敏度。

光电传感器是通过把光强度的变化转换成电信号的变化来实现控制的。

光电传感器在一般情况下,有三部分构成,它们分为:发送器、接收器和检测电路。

发送器对准目标发射光束,发射的光束一般来源于半导体光源,发光二极管(LED)、激光二极管及红外发射二极管。光束不间断地发射,或者改变脉冲宽度。接收器有光电二极管、光电三极管、光电池组成。在接收器的前面,装有光学元件如透镜和光圈等。在其后面是检测电路,它能滤出有效信号和应用该信号。

3、光电效应分类

(1) 在光线作用下能使电子逸出物体表面的现象称为外光电效应，如：光电管、光电倍增管等。

(2) 在光线作用下能使物体的电阻率改变的现象称为内光电效应，如：光敏电阻、光敏晶体管等。

(3) 在光线作用下，物体产生一定方向电动势的现象称为光生伏特效应，如：光电池等。

4、光电检测方法具有精度高、反应快、非接触等优点，而且可测参数多，传感器的结构简单，形式灵活多样。因此，光电式传感器在检测和控制中应用非常广泛。

5、光电传感器是各种光电检测系统中实现光电转换的关键元件，它是把光信号转变成电信号的器件。

光电式传感器是以光电器件作为转换元件的传感器。它可用于检测直接引起光量变化的非电物理量，如：光强、光照度、辐射测温、气体成分分析等；也可用来检测能转换成光量变化的其他非电量，如：零件直径、表面粗糙度、应变、位移、振动、速度、加速度，以及物体的形状、工作状态的识别等。光电式传感器具有非接触、响应快、性能可靠等特点，因此在工业自动化装置和机器人中获得广泛应用。新的光电器件不断涌现，特别是 CCD 图像传感器的诞生，为光电传感器的进一步应用开创了新的一页。

(1) 槽型光电传感器，把一个光发射器和一个光接收器面对面地装在一个槽的两侧组成槽形光电。发光器能发出红外光或可见光，在无阻挡情况下光接收器能收到光。但当被检测物体从槽中通过时，光被遮挡，光电开关便动作，输出一个开关控制信号，切断或接通负载电流，从而完成一次控制动作。槽形开关的检测距离因为受整体结构的限制一般只有几厘米。



图 2-42 槽型光电传感器实物

(2) 对射型光电传感器，若把发光器和收光器分离开，就可使检测距离加大，一个发光器和一个收光器组成对射分离式光电开关，简称对射式光电开关。对射式光电开关的检测距离可达几米乃至几十米。使用对射式光电开关时把发光器和收光器分别装在检测物通过路径的两侧，检测物通过时阻挡光路，收光器就动作输出一个开关控制信号。



图 2-43 对射型光电传感器实物

(3) 反光板型光电开关，把发光器和收光器装入同一个装置内，在前方装一块反光板，利用反射原理完成光电控制作用，称为反光板反射式(或反射镜反射式)光电开关。正常情况下，发光器发出的光源被反光板反射回来再被收光器收到；一旦被检测物挡住光路，收光器收不到光时，光电开关就动作，输出一个开关控制信号。



图 2-44 反射型光电传感器实物

4、光电传感器常见的问题

光电传感器没有信号输出时，首先要考虑的是接线或配置是否有异常；同时还需要考虑的是检测物体的位置问题，如果检测物体不在检测区域，光电传感器也没有信号输出。检测物体必须在传感器可以检测的区域内，也就是光电可以感知的范围内。要考虑传感器光轴有没有对准问题，对射型的投光部和受光部光轴必须对准，对应的回归反射型的探头部分和反光板光轴必须对准。同样还要考虑的是检测物体是否符合标准检测物

体或者最小检测物体的标准，检测物体不能小于最小检测物体的标准，从而避免导致对射型、反射型不能很好检测透明物体，像反射型对检测物体的颜色有要求，颜色越深，检测距离就越近。

我们还需要考虑检测环境的干扰因素。如光照强度不能超出额定范围，如果现场环境有粉尘，就需要我们定期清理光电传感器探头表面；或者是多个传感器紧密安装，互相产生干扰；还有一种影响比较大的是电气干扰，如果周围有大功率设备，产生干扰时必须要有相应的抗干扰措施。

四、接近传感器

1、接近传感器的基本概述

由于plc的输入分为NPN输入和PNP输入两种类型，因此，接近开关也分为NPN和PNP两种类型，只有接近开关的类型和PLC的输入类型接法一致时，当有物体接近的时候，PLC才会有输入信号。一般日韩系的接近开关默认是NPN型，欧美系的接近开关默认是PNP型。接近开关不同于PLC，无论是日韩系，还是欧美系，每一款接近开关都有NPN和PNP两种类型。而PLC不可能有NPN型和PNP型，这是因为PLC的极性可以通过接线改变，而接近开关一旦固定，是无法更改的。



图 2-45 接近传感器实物及符号

如上图 2-45（左图）所示，这就是常见的接近开关，它为圆柱形，一般来说，它的直径越粗，检测距离越远。

根据检测物体的不同，接近开关分为电感性和电容性两种，电感性接近开关是利用霍尔效应，检测磁场的变化，由于金属才能引起磁场的变化，因此电感性接近开关主要检测金属，主要是钢铁。电容性接近开关实质是一个电容的极板，当被检测物体接近时，整个电容的介电常数发生变化，于是就认为有物体接近，因此，电容性接近开关即可以检测金属，也可以检测非金属。但是一般我们都是用电感性接近开关检测金属，因此，大家都默认电容性接近开关用于检测非金属。比如：陶瓷，纸张，木材等。

2、接近传感器的现

场应用



图 2-46 接近传感器的安装

如上图 2-46 所示，是接近开关在工业现场的实际应用，它一般通过支架固定，当检测物体靠近的时候，它的指示灯会亮，表示接近开关有了输出。同样，如果接线正确，PLC 就会有输入信号。接近开关怎样接入 PLC 的输入点呢？其实它和按钮开关类似，一般接近开关都有三根线，分别是棕色、蓝色和黑色。棕色和蓝色是电源，通常棕色为 24V，蓝色为 0V。黑色是信号线，接到 PLC 的输入，而这个信号正是我们所需要的。



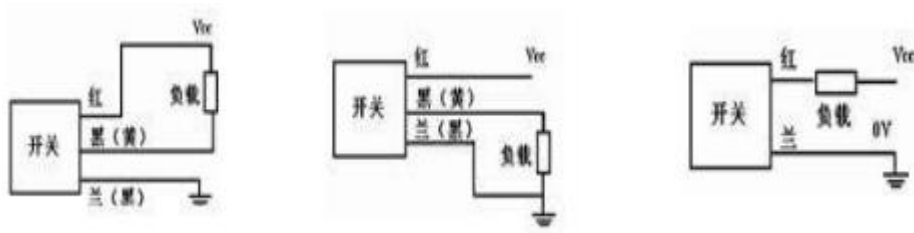


图 2-47 接近传感器的接线

接近开关的三根接线，棕色和蓝色分别接到 PLC 的 24V 和 0V 上，黑色接到 I0 上。当有物体到达接近开关的感应距离时，PLC 的 I0 便会有输入，我们在程序里就可以做处理。需要注意的是，图中 0V 和 COM0 短接，因此，这种接法适合 PNP 型的接近开关。而 NPN 型的接近开关按此接法，是不会有信号的。还有一点需要注意的是，接近开关要直接接到 PLC 的输入，中间不要增加任何形式的继电器等转化器件。

四、压力传感器

1、压力传感器的基本概念

压力传感器是一种将压力转换成气动信号或电动信号进行控制和远传的设备。它能将测压元件传感器感受到的气体、液体等物理压力参数转变成标准的电信号（如：4~20mADC 等），以供给指示报警仪、记录仪、调节器等二次仪表进行测量、指示和过程调节。

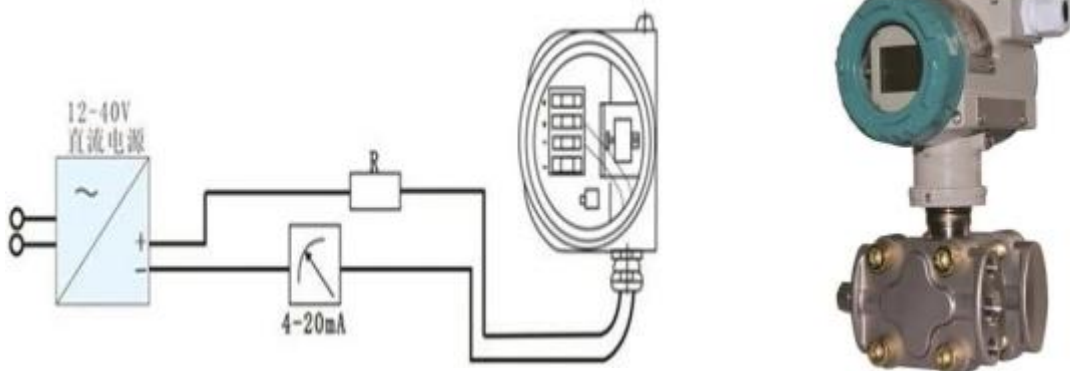


图 2-48 压力传感器的接线及实物



压力传感器用于各种工业自控环境，涉及水利水电、铁路交通、智能建筑、生产自控、航空航天、军工、石化、油井、电力、船舶、机床、管道等众多行业。

压力传感器有电动式和气动式两大类。电动式的统一输出信号为 $0\sim 10\text{mA}$ 、 $4\sim 20\text{mA}$ 或 $1\sim 5\text{V}$ 等直流电信号。气动式的统一输出信号为 $20\sim 100\text{Pa}$ 的气体压力。

压力传感器按不同的转换原理可分为力(力矩)平衡式、电容式、电感式、应变式和频率式等，下面简单介绍几种压力(差压)传感器的原理、结构、使用、检修和校验等知识。

压力传感器的主要作用把压力信号传到电子设备，进而在计算机显示压力。

2、压力传感器的工作原理

压力传感器是感受压力的电器元件，一般为电阻应变片，电阻应变片是一种将被测件上的压力转换成为一种电信号的敏感器件。电阻应变片应用最多的是金属电阻应变片和半导体应变片两种。金属电阻应变片又有丝状应变片和金属箔状应变片两种。通常是将应变片通过特殊的黏合剂紧密地粘合在产生力学应变基体上，当基体受力发生应力变化时，电阻应变片也一起产生形变，使应变片的阻值发生改变，从而使加在电阻上的电压发生变化。

其原理大致是：将水压这种压力的力学信号转变成电流 ($4\sim 20\text{mA}$)，这样的电子信号压力和电压或电流大小成线性关系，一般是正比关系。传感器输出的电压或电流随压力增大而增大，压力传感器的被测介质的两种压力通入高、低两压力室，低压室压力采用大气压或真空，作用在敏感元件的两侧隔离膜片上，通过隔离片和元件内的填充液传送到测量膜片两侧。

3、压力传感器的主要性能

(1) 使用被测介质广泛，可测油、水及与 316 不锈钢和 304 不锈钢兼容的糊状物，具有一定的防腐能力。

(2) 高准确度、高稳定性、温度稳定性高。

(3) 体积小、重量轻、安装、调试、使用方便。

(4) 不锈钢全封闭外壳，防水好。

(5) 压力传感器直接感测被测液位压力，不受介质起泡、沉积的影响。

4、压力传感器的主要优点

(1) 压力传感器具有工作可靠、性能稳定等特点。



(2) 集成电路，外围器件少，可靠性高；维护简单、轻松，体积小、重量轻，安装调试极为方便。

(3) 铝合金压铸外壳，三端隔离，静电喷塑保护层，坚固耐用。

(4) 4-20mA DC 二线制信号传送，抗干扰能力强，传输距离远。

(5) LED、LCD、指针三种指示表头，现场读数十分方便。可用于测量粘稠、结晶和腐蚀性介质。

5、压力传感器的选型规则

(1) 根据要测量压力的类型

压力类型主要有表压、绝压、差压等。表压是指以大气为基准，小于或大于大气压的压力；绝压是指以绝对压力零位为基准，高于绝对压力；差压是指两个压力之间的差值。

(2) 根据被测压力量程

一般情况下，按实际测量压力为测量范围的 80%选取。

要考虑系统的最大压力。一般来说，压力传感器压力范围最大值应该达到系统最大压力值的 1.5 倍。一些水压和过程控制，有压力尖峰或者连续的脉冲。这些尖峰可能会达到“最大”压力的 5 倍甚至 10 倍，可能造成压力传感器的损坏。连续的高压脉冲，接近或者超过压力传感器的最大额定压力，会缩短压力传感器的使用寿命，但提高压力传感器额定压力会牺牲压力传感器的分辨率。

压力传感器一般设计成能在 2 亿个周期中承受最大压力而不会降低性能，在选择传感器时可在系统性能与传感器寿命之间找到一个折中的解决方案。

(3) 根据被测介质

按测量介质的不同，可分为干燥气体、液体、强腐蚀性液体、黏稠液体、高温液体等，根据不同的介质正确选型，有利于延长压力传感器的使用寿命。

(4) 根据系统的最大过载

系统的最大过载应小于压力传感器的过载保护极限，否则会影响压力传感器的使用寿命甚至损坏压力传感器。通常压力传感器的安全过载压力为满量程的 2 倍。

(5) 根据需要的准确度等级



压力传感器的测量误差按准确度等级进行划分，不同的准确度对应不同的基本误差限(以满量程输出的百分数表示)。实际应用中，根据测量误差的控制要求并本着使用经济的原则进行选择。

(6) 根据系统工作温度范围

测量介质温度应处于压力传感器工作温度范围内，如超温使用，将会产生较大的测量误差，并影响压力传感器的使用寿命；在压力传感器的生产过程中，会对温度影响进行测量和补偿，以确保其受温度影响产生的测量误差处于准确度等级要求的范围内。

(7) 根据测量介质与接触材质的兼容性

在某些测量场合，测量介质具有腐蚀性，此时需选用与测量介质兼容的材料或进行特殊的工艺处理，确保压力传感器不被损坏。

(8) 根据压力接口形式

通常以螺纹连接(M20×1.5)为标准接口形式。

(9) 根据供电电源和输出信号

通常压力传感器采用直流电源供电，提供多种输出信号选择，包括4~20mA DC、0~5V DC、1~5V DC、0~10mA DC等。

(10) 根据现场工作环境情况及其他

是否存在振动及电磁干扰等，选型时应提供相关信息，以便采取相应处理。在选型时，其它如电气连接方式等也可以根据具体情况予以考虑。

可以考虑选择高温型压力传感器或采取安装冷凝管、散热器等辅助降温措施。

6、压力传感器使用过程应注意考虑下列情况

(1) 防止压力传感器与腐蚀性或过热的介质接触。

(2) 防止渣滓在导管内沉积。

(3) 测量液体压力时，取压口应开在流程管道侧面，以避免沉淀积渣。

(4) 测量气体压力时，取压口应开在流程管道顶端，并且压力传感器也应安装在流程管道上部，以便积累的液体容易注入流程管道中。

(5) 导压管应安装在温度波动小的地方。



(6) 测量蒸汽或其它高温介质时，需接加缓冲管（盘管）等冷凝器，不应使压力传感器的工作温度超过极限。

(7) 冬季发生冰冻时，安装在室外的压力传感器必需采取防冻措施，避免引压口内的液体因结冰体积膨胀，导致传感器损坏。

(8) 测量液体压力时，压力传感器的安装位置应避免液体的冲击（水锤现象），以免传感器过压损坏。

(9) 接线时，将电缆穿过防水接头（附件）或绕性管并拧紧密封螺帽，以防雨水等通过电缆渗漏进变送器壳体内。

【思考与练习题】

一、简述题。

- (1) 自动化设备控制系统中常用到的开关有哪些？
- (2) 启动开关、停止开关、急停开关、复位开关的作用分别是什么？
- (3) 断路器的工作原理是什么？
- (4) 电磁中间继电器的工作原理是什么？
- (5) 电磁接触器的工作原理是什么？
- (6) 熔断器的作用是什么？
- (7) 接近开关的作用是什么？
- (8) 反射型、对射型光电开关的作用是什么？



第三章 常用电机的原理及控制电路

【教学目标】

- (1) 熟识直流电机、单相交流电机、三相交流电机、步进电机、伺服电机的外形及结构。
- (2) 掌握直流电机、单相交流电机、三相交流电机、步进电机、伺服电机的工作原理。
- (3) 熟悉和读懂常用电机的控制电路图，能够独立完成常用电机控制线路的连接。
- (4) 掌握常用电机控制系统故障的处理方法。

第一节 直流电动机

一、直流电动机外形及结构

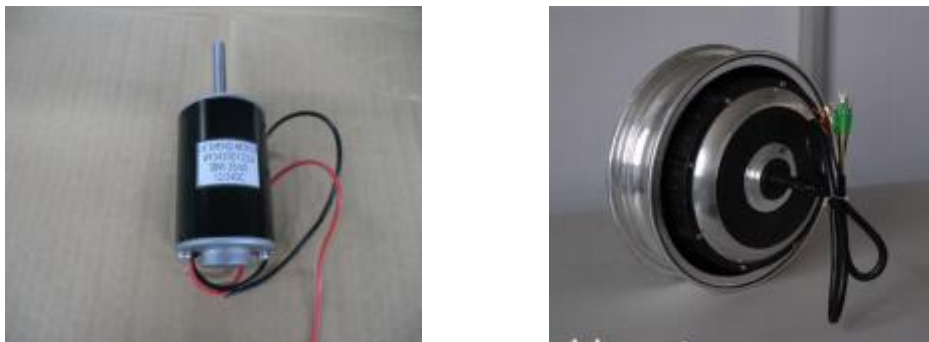


图 3-1 直流电动机的外形实物图

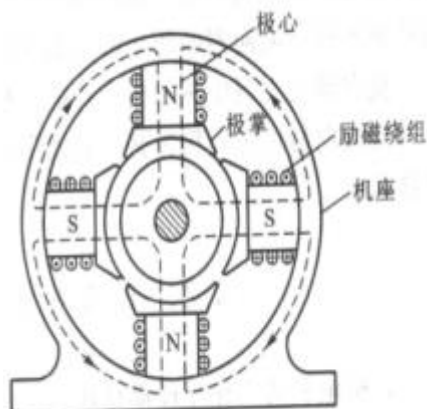


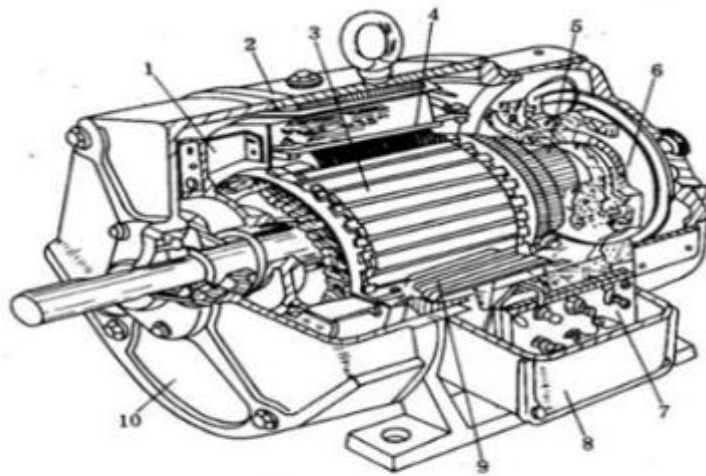
图 3-2 直流电动机的结构

1、直流电动机的概述

将直流电能转换为机械能的电动机称为直流电动机。

2、直流电动机的基本构造

直流电动机的结构由定子和转子两大部分组成。直流电动机运行时静止不动的部分称为定子，定子的主要作用是产生磁场，由机座、主磁极、换向极、端盖、轴承和电刷装置等组成。运行时转动的部分称为转子，其主要作用是产生电磁转矩和感应电动势，是直流电机进行能量转换的枢纽，所以通常又称为电枢，由转轴、电枢铁心、电枢绕组、换向器和风扇等组成。



1—风扇 2—机座 3—电枢 4—主磁极 5—刷架
6—换向器 7—接线板 8—出线盒 9—换向
磁极 10—端盖

图 3-3 直流电动机的基本构造图

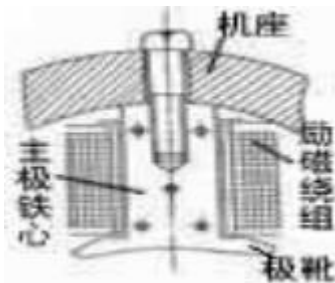


图 3-4 直流电动机的定子

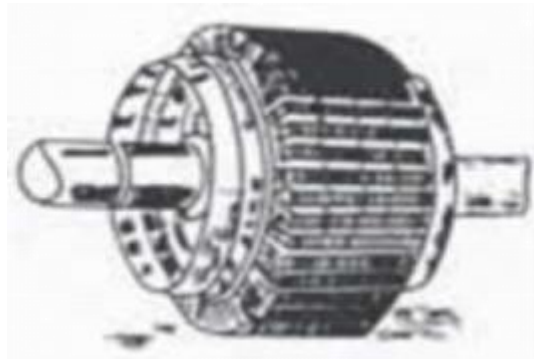


图 3-5 直流电动机的转子

二、直流电动机工作原理

导体受力的方向用左手定则确定，电磁力形成了作用于电枢的一个力矩，这个力矩在旋转电机里称为电磁转矩，转矩的方向是逆时针方向，企图使电枢逆时针方向转动。如果此电磁转矩能够克服电枢上的阻转矩（例如由摩擦引起的阻转矩以及其它负载转矩），电枢就能按逆时针方向旋转起来。

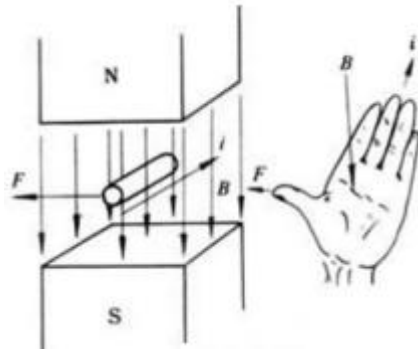
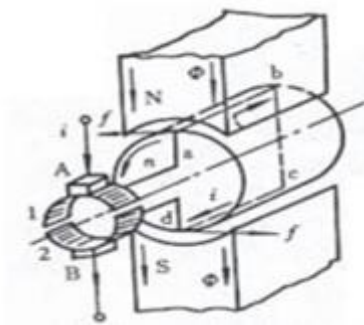


图 3-6 左手定则

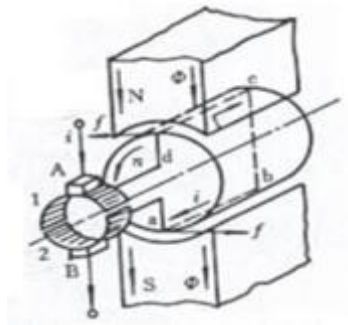
当电枢转了 180° 后，导体 cd 转到 N 极下，导体 ab 转到 S 极下时，由于直流电源供给的电流方向不变，仍从电刷 A 流入，经导体 cd 、 ab 后，从电刷 B 流出。这时导体 cd 受力方向变为从右向左，导体 ab 受力方向是从左向右，产生的电磁转矩的方向仍为逆时针方向。

因此，电枢一经转动，由于换向器配合电刷对电流的换向作用，直流电流交替地由导体 ab 和 cd 流入，使线圈边只要处于 N 极下，其中通过电流的方向总是由电刷 A 流入的方向，而在 S 极下时，总是从电刷 B 流出的方向。这就保证了每个极下线圈边中的电流始终是一个方向，从而形成一种方向不变的转矩，使电动机能连续地旋转，这就是直流电动机的工作原理。



导体 $a b$ 处于 N 极下

图 3-7 直流电动机原理模型



导体 $a b$ 处于 S 极下

图 3-8 直流电动机原理模型

三、直流电动机的分类

1、无刷直流电动机和有刷直流电动机



(1) 无刷直流电动机：无刷直流电动机是将普通直流电动机的定子与转子进行了互换。其转子为永久磁铁产生气隙磁通，定子为电枢，由多相绕组组成。在结构上，它与永磁同步电动机类似。

无刷直流电动机定子的结构与普通的同步电动机或感应电动机相同，在铁芯中嵌入多相绕组(三相、四相、五相不等)，绕组可接成星形或三角形，并分别与逆变器的各功率管相连，以便进行合理换相。转子多采用钕钴或钕铁硼等高矫顽力、高剩磁密度的稀土料，由于磁极中磁性材料所放位置的不同，可以分为表面式磁极、嵌入式磁极和环形磁极。由于电动机本体为永磁电机，所以习惯上把无刷直流电动机也叫做永磁无刷直流电动机。

(2) 有刷直流电动机：有刷电动机的2个刷(铜刷或者碳刷)是通过绝缘座固定在电动机后盖上直接将电源的正负极引入到转子的换相器上，而换相器连通了转子上的线圈，3个线圈极性不断的交替变换与外壳上固定的2块磁铁形成作用力而转动起来。由于换相器与转子固定在一起，而刷与外壳(定子)固定在一起，电动机转动时刷与换相器不断的发生摩擦产生大量的阻力与热量。所以有刷电动机的效率低下，损耗非常大；但是，它同样具有制造简单、成本及其低廉的优点。

直流电动机按励磁方式分为永磁、他励和自励三类，其中自励又分为并励、串励和复励三种。

(1) 他励直流电机：励磁绕组与电枢绕组无联接关系，而由其他直流电源对励磁绕组供电的直流电机称为他励直流电机，永磁直流电机也可看作他励直流电机。

(2) 并励直流电机：并励直流电机的励磁绕组与电枢绕组相并联，励磁绕组与电枢共用同一电源，从性能上讲与他励直流电动机相同。

(3) 串励直流电机：串励直流电机的励磁绕组与电枢绕组串联后，再接于直流电源，这种直流电机的励磁电流就是电枢电流。

(4) 复励直流电机：复励直流电机有并励和串励两个励磁绕组，若串励绕组产生的磁通势与并励绕组产生的磁通势方向相同，称为积复励。若两个磁通势方向相反，则称为差复励。不同连磁方式的直流电机有着不同的特性，一般情况直流电动机的主要励磁方式是并励式、串励式和复励式。

2、直流电动机的特点

(1) 调速性能好。



所谓“调速性能”，是指电动机在一定负载的条件下，根据需要，人为地改变电动机的转速。直流电动机可以在重负载条件下，实现均匀、平滑的无级调速，而且调速范围较宽。

(2) 起动力矩大。

可以均匀而经济地实现转速调节。因此，凡是在重负载下起动或要求均匀调节转速的机械，例如大型可逆轧钢机、卷扬机、电力机车、电车等，都用直流电动机拖动。

3、直流电动机的命名

国产电机型号一般采用大写的汉语拼音字母和阿拉伯数字表示，其格式为：第一部分用大写的拼音字母表示产品代号，第二部分用阿拉伯数字表示设计序号，第三部分用阿拉伯数字表示机座代号，第四部分用阿拉伯数字表示电枢铁心长度代号。

以 Z2—92 为例：Z 表示一般用途直流电动机；2 表示设计序号，第二次改型设计；9 表示机座序号；2 表示电枢铁心长度符号。

第一部分字符含义如下：

Z 系列：一般用途直流电动机

ZA 系列：防爆安全型直流电动机

ZJ 系列：精密机床用直流电机

ZH 系列：船用直流电动机

ZKJ 系列：挖掘机用直流电动机

ZQ 系列：直流牵引电动机

ZT 系列：广调速直流电动机

ZY 系列：永磁直流电机

ZZJ 系列：冶金起重机用直流电动机

四、直流电动机基本控制

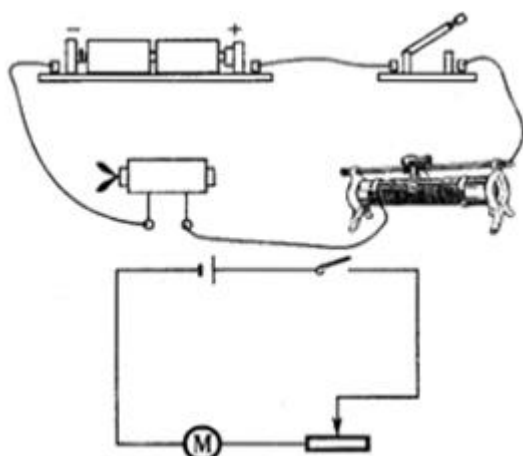


图 3-9 直流电动机简易控制实验电路

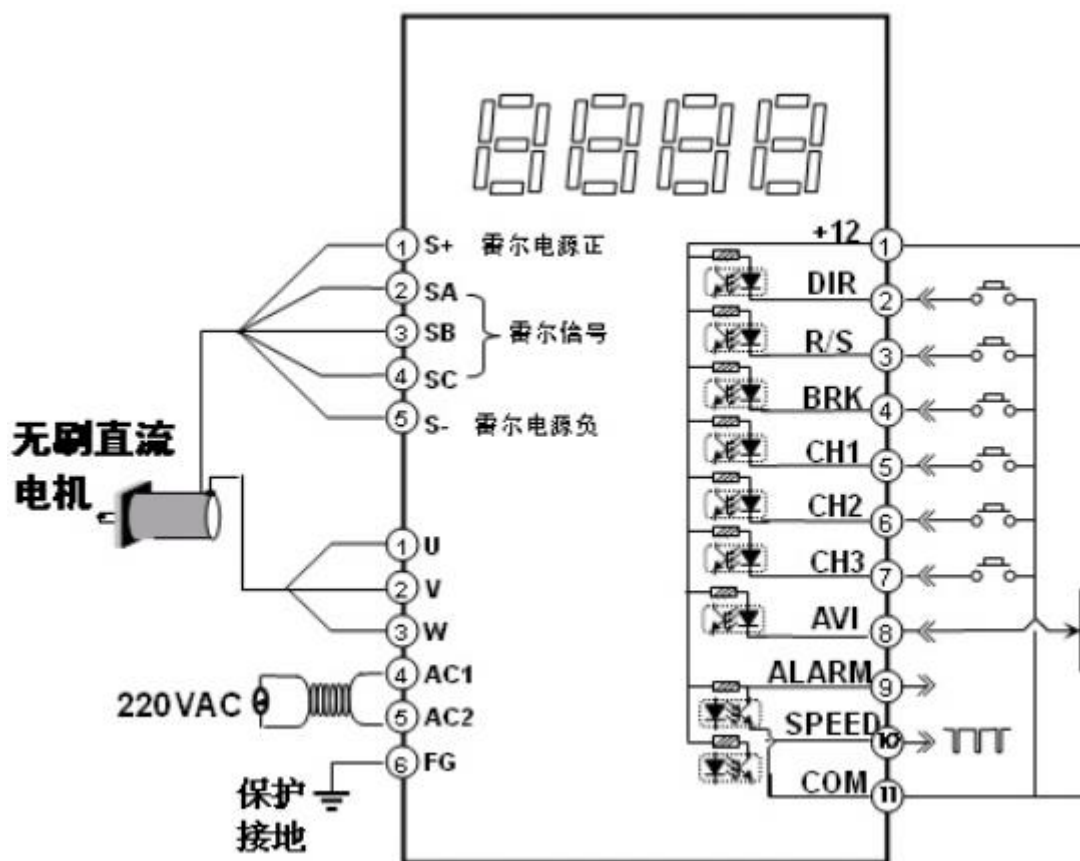


图 3-10 控制器控制无刷直流电机接线图

第二节 单相交流电动机

一、单相交流电动机外形



图 3-11 单相交流电机实物图



图 3-12 单相交流电机的应用实物图

二、单相交流电动机工作原理

用单相电容式电机说明:单相电机有两个绕组,即起动绕组和运行绕组。两个绕组在空间上相差 90 度。在起动绕组上串联了一个容量较大的电容器,当单相交流电通过运行绕组和起动绕组时,由于电容器作用使起动绕组中的电流在时间上比运行绕组的电流超前 90 度角,先到达最大值。在时间和空间上形成两个相同的脉冲磁场,使定子与转子之间的气隙中产生了一个旋转磁场,在旋转磁场的作用下,电机转子中产生感应电流,电流与旋转磁场互相作用产生电磁场转矩,使电机旋转起来。

三、单相交流电动机分类

通常根据电动机的起动和运行方式的特点，将单相异步电动机分类：

- (1) 单相电阻起动异步电动机
- (2) 单相电容起动异步电动机
- (3) 单相电容运转异步电动机
- (4) 单相电容起动和运转异步电动机
- (5) 单相罩极式异步电动机

四、单相交流电动机基本控制

(1) 如图 3-13 所示，分相起动式，由辅助起动绕组来辅助启动，其启动转矩不大。运转速率大致保持定值。主要应用于电风扇，空调风扇电动机，洗衣机等电机。

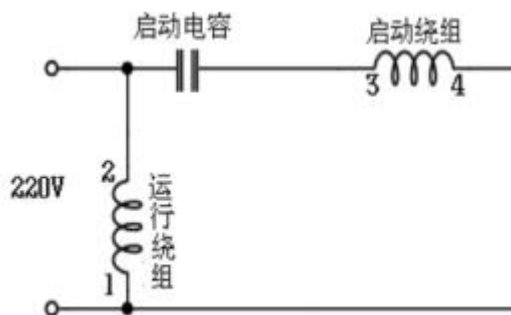


图 3-13 单相交流电机起动图

(2) 如图 3-14 所示，电机静止时离心开关是接通的，给电后启动电容参与起动工作，当转子转速达到额定值的 70%至 80%时，离心开关便会自动跳开，启动电容完成任务，并被断开。启动绕组不参与运行工作，而电动机以运行绕组线圈继续动作。

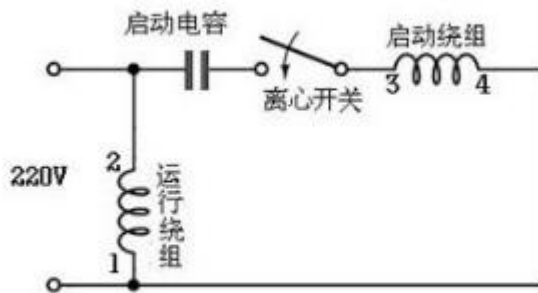


图 3-14 单相交流电机起动图

(3) 如图 3-15 所示，电机静止时离心开关是接通的，给电后启动电容参与启动工作，当转子转速达到额定值的 70%至 80%时离心开关便会自动跳开，启动电容完成任务，并被断开。而运行电容串接到启动绕组参与运行工作。这种接法一般用在空气压缩机、切割机、木工机床等负载大而不稳定的地方。

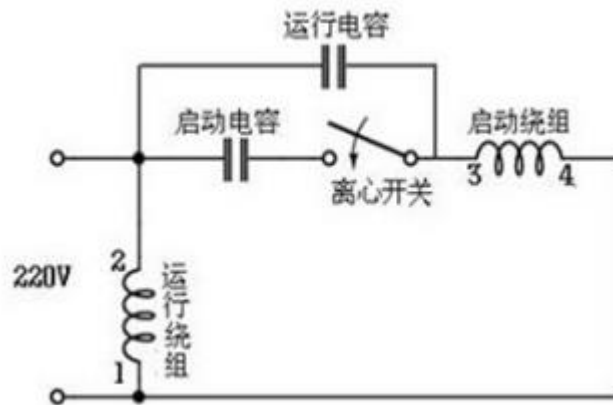


图 3-15 单相交流电机起动图

带有离心开关的电机，如果电机不能在很短时间内启动成功，那么绕组线圈将会很快烧毁。电容值：双值电容电机，启动电容容量大，运行电容容量小，耐压一般大于 400V。

扩展内容：单相交流电动机的维护

(1) 使用环境应经常保持干燥，电动机表面应保持清洁，进风口不应受尘土、纤维等阻碍。



(2) 当电动机的热保护连续发生动作时，应查明故障来自电动机还是超负荷或保护装置整定值太低，消除故障后，方可投入运行。

(3) 应保证电动机在运行过程中良好的润滑。一般的电动机运行 5000 小时左右，即应补充或更换润滑脂，运行中发现轴承过热或润滑变质时，也要及时换润滑脂。更换润滑脂时，应清除旧的润滑油，并用汽油洗净轴承及轴承盖的油槽，然后将锂基脂填充轴承内外圈之间的空腔的 1/2-2/3。

(4) 当轴承的寿命终了时，电动机运行的振动及噪声将明显增大，检查轴承的径向游隙，径向游隙过大，即应更换轴承。

(5) 拆卸电动机时，从轴伸端或非伸端取出转子都可以。如果没有必要卸下风扇，还是从非轴伸端取出转子较为便利，从定子中抽出转子时，应防止损坏定子绕组或绝缘。

(6) 更换绕组时必须记下原绕组的形式、尺寸、匝数等，当失落了这些数据时，应向制造厂索取。随意更改原设计绕组，常常使电动机某项或几项性能恶化，甚至于无法使用。

第三节 三相交流电动机

一、三相交流电动机外形及结构



图 3-16 三相交流电动机实物图

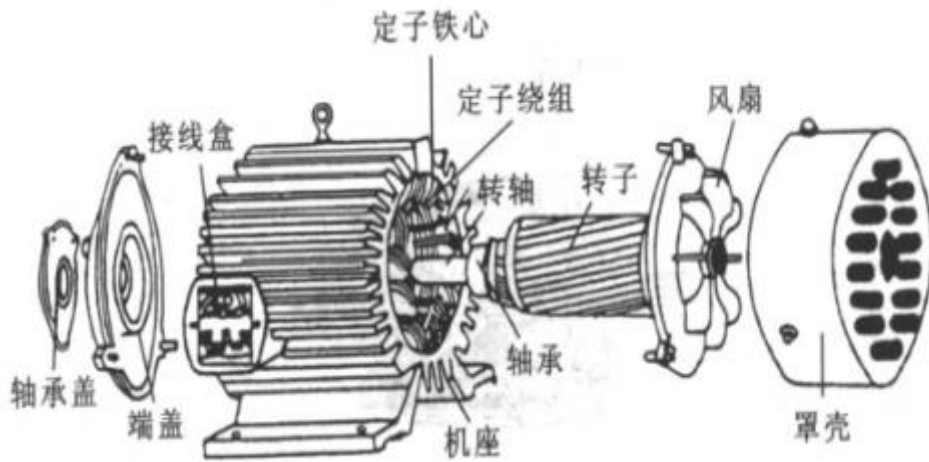


图 3-17 三相交流电动机剖视图

1、定子铁心

作用:电动机磁路的一部分,并在其上放置定子绕组。

构造:定子铁心一般由 0.35~0.5 毫米厚表面具有绝缘层的硅钢片冲制、叠压而成,在铁心的内圆冲有均匀分布的槽,用以嵌放定子绕组。



定子铁心槽型有以下几种:

(1) 半闭口型槽:电动机的效率和功率因数较高,但绕组嵌线和绝缘都较困难,一般用于小型低压电动机中。

(2) 半开口型槽:可嵌放成型绕组,一般用于大型、中型低压电动机。所谓成型绕组即绕组可事先经过绝缘处理后再放入槽内。

(3) 开口型槽:用以嵌放成型绕组,绝缘方法方便,主要用在高压电动机中。

2、定子绕组

(1) 作用:是电动机的电路部分,通入三相交流电,产生旋转磁场。

(2) 构造:由三个在空间互隔 120° 电角度、对称排列的结构完全相同绕组连接而成,这些绕组的各个线圈按一定规律分别嵌放在定子各槽内。

(3) 定子绕组的主要绝缘项目有以下三种:(保证绕组的各导电部分与铁心间的可靠绝缘以及绕组本身间的可靠绝缘)。

(4) 对地绝缘:定子绕组整体与定子铁心间的绝缘。

(5) 相间绝缘:各相定子绕组间的绝缘。

(6) 匝间绝缘:每相定子绕组各线匝间的绝缘。

电动机接线盒内的接线:电动机接线盒内都有一块接线板,三相绕组的六个线头排成上下两排,并规定上排三个接线桩自左至右排列的编号为 1(U1)、2(V1)、3(W1),下排三个接线桩自左至右排列的编号为 6(W2)、4(U2)、5(V2),将三相绕组接成星形接法或三角形接法。凡制造和维修时均应按这个序号排列。

3、机座

作用:固定定子铁心与前后端盖以支撑转子,并起防护、散热等作用。

构造:机座通常为铸铁件,大型异步电动机机座一般用钢板焊成,微型电动机的机座采用铸铝件。封闭式电机的机座外面有散热筋以增加散热面积,防护式电机的机座两端端盖开有通风孔,使电动机内外的空气可直接对流,以利于散热。

4、三相异步电动机的转子铁心

(1) 作用:作为电机磁路的一部分以及在铁心槽内放置转子绕组。

(2) 构造:所用材料与定子一样,由 0.5mm 厚的硅钢片冲制、叠压而成,硅钢片外圆冲有均匀分布的孔,用来安置转子绕组。



(3) 通常用定子铁心冲落后的硅钢片内圆来冲制转子铁心。一般小型异步电动机的转子铁心直接压装在转轴上,大、中型异步电动机(转子直径在 300~400 毫米以上)的转子铁心则借助与转子支架压在转轴上。

5、三相异步电动机的转子绕组

(1) 作用:切割定子旋转磁场产生感应电动势及电流,并形成电磁转矩而使电动机旋转。

(2) 构造:分为鼠笼式转子和绕线式转子。

(3) 鼠笼式转子:转子绕组由插入转子槽中的多根导条和两个环行的端环组成。若去掉转子铁心,整个绕组的外形像一个鼠笼,故称笼型绕组。小型笼型电动机采用铸铝转子绕组,对于 100KW 以上的电动机采用铜条和铜端环焊接而成。

(4) 鼠笼转子分为:阻抗型转子、单鼠笼型转子、双鼠笼型转子、深槽式转子几种,起动转矩等特性各有不同。

(5) 绕线式转子:绕线转子绕组与定子绕组相似,也是一个对称的三相绕组,一般接成星形,三个出线头接到转轴的三个集流环上,再通过电刷与外电路联接。特点:结构较复杂,故绕线式电动机的应用不如鼠笼式电动机广泛。但通过集流环和电刷在转子绕组回路中串入附加电阻等元件,用以改善异步电动机的起、制动性能及调速性能,故在要求一定范围内进行平滑调速的设备,如吊车、电梯、空气压缩机等上面采用。

6、端盖

作用:支撑作用。

7、轴承

作用:连接转动部分与不动部分。

8、轴承端盖

作用:保护轴承。

9、风扇

作用:冷却电动机。

二、三相交流电动机工作原理

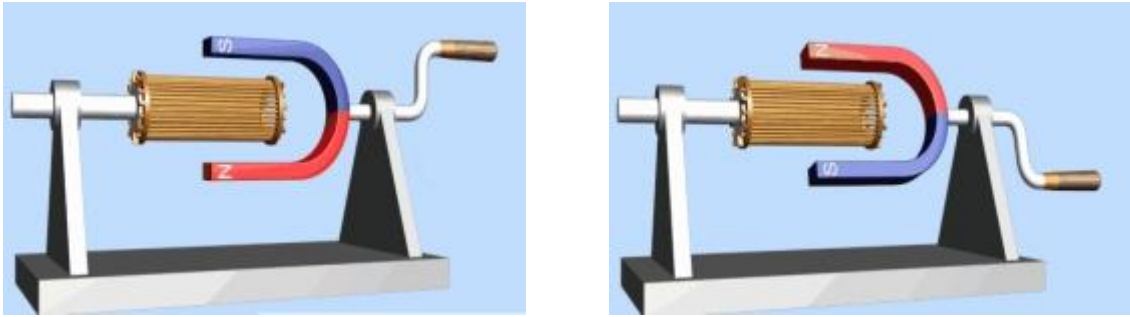


图 3-18 三相交流电动机工作原理模型图

当电动机的三相定子绕组(各相差 120 度电角度), 通入三相对称交流电后, 将产生一个旋转磁场, 该旋转磁场切割转子绕组, 从而在转子绕组中产生感应电流(转子绕组是闭合通路), 载流的转子导体在定子旋转磁场作用下将产生电磁力, 从而在电机转轴上形成电磁转矩, 驱动电动机旋转, 并且电机旋转方向与旋转磁场方向相同。

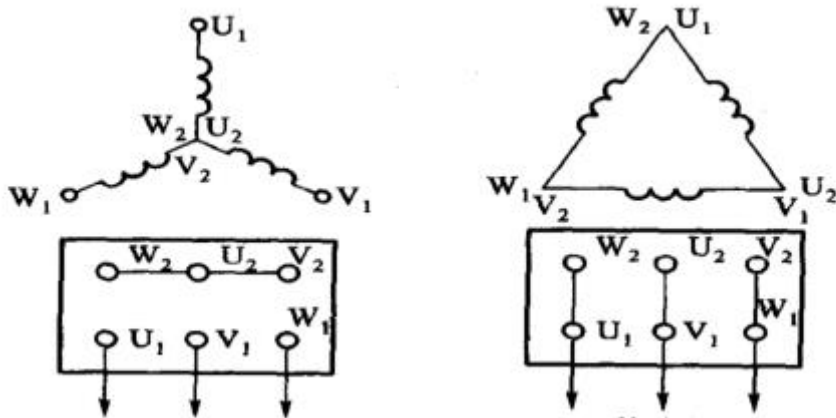


图 3-19 三相交流电动机接线图

三、三相交流电动机的分类

1、按电动机结构尺寸分类

① 大型电动机指电动机机座中心高度大于 630mm, 或者 16 号机座及以上, 或定子铁芯外径大于 990mm, 称为大型电动机。

② 中型电动机指电动机机座中心高度在 355 — 630mm 之间, 或者 11-15 号机座. 或定子铁芯外径在 560~990mm 之间, 称为中型电动机。



③ 小型电动机指电动机机座中心高度在 80-315mm，或者 10 号及以下机座，或定子铁芯外径在 125-560mm 之间，称为小型电动机。

2、按电动机转速分类

① 恒转速电动机有普通笼型、特殊笼型(深槽式、双笼式、高启动转矩式)和绕线型。

② 调速电机就是配有有换向器的电动机，一般采用三相并励式的绕线转子电动机(转子控制电阻、转子控制励磁)。

③ 变速电动机有变极电动机、单绕组多速电动机、特殊笼型电动机和转差电动机等。

3、按机械特性分类

① 普通笼型异步电动机适用于小容量、转差率变化小的恒速运行的场所. 如鼓风机、离心泵、车床等低启动转矩和恒负载的场合。

② 深槽笼型适用于中等容量、启动转矩比井通笼型异步电动机稍大的场所。

③ 双笼型异步电动机适用于中、大型笼型转子电动机. 启动转矩较大. 但最大转矩稍小. 适用于传送带、压缩机、粉碎机、搅拌机、往复泵等需要启动转矩较大的恒速负载上。

④ 特殊双笼型异步电动机采用高阻抗导体材料制成。特点是启动转矩大，最大转矩小，转差率较大. 可实现转速调节。适用于冲床、切断机等设备。

⑤ 绕线转子异步电动机适用于启动转矩大、启动电流小的场所，如传送带、压缩机、压延机等设备。

4、按电动机防护形式分类

① 开启式电动机除必要的支承结构外，对于转动及带电部分没有专门的保护。

② 防护式电动机内转动和带电部分有必要的机械保护，但不明显地妨碍通风。按其通风口防护结构不同，有下列三种:网罩式、防滴式、防溅式。防滴式与防溅式不同，防滴式是能防止垂直下落的固体或液体进入电动机内部，而防溅式是能防止与垂线成 1000 角范围内任何方向的液体或固体进入电动机内部。

③ 封闭式电动机机壳结构能够阻止壳内外空气自由交换. 但并不要求完全密封。

④ 防水式电动机机壳结构能够阻止具有一定压力的水进入电动机内部。

- ⑤ 水密式当电动机浸没在水中时,电动机机壳的结构能够阻止水进入电动机内部。
- ⑥ 潜水式电动机在规定的水压下,能长期在水中运行。
- ⑦ 隔爆式电动机机壳的结构能阻止电动机内部的气体爆炸传递到电动机外部,而引起电动机外部的燃烧性气体的爆炸。

5、按电动机使用环境分类

可分为普通型、湿热型、干热型、船用型、化工型、高原型和户外型。

四、三相交流电动机基本控制

1、点动控制电路的工作原理

按下 SB, KM 线圈得电, KM 触点闭合, 电机转动; 松开 SB, KM 线圈失电, KM 触点断开, 电机停转。

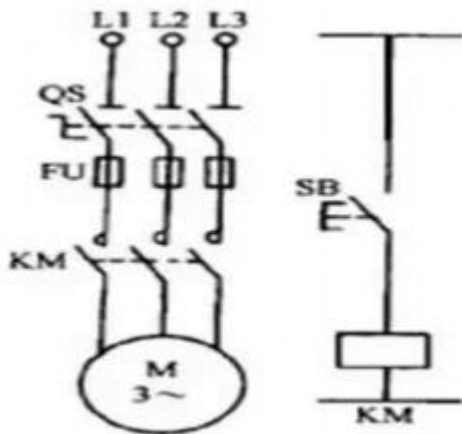


图 3-20 三相交流电机点动控制图

2、起动、自保控制电路的工作原理

按下 SB2, KM1 线圈得电, KM 吸合, 主触电接通电机电源, 电机运行; 同时辅助触点闭合, 接通控制回路, 并保持。松开 SB2, 由于辅助触点已经闭合了控制回路, 靠辅助触点继续接通控制回路, 电机继续运行。按下 SB1, KM1 断电, 辅助触点断开, 主触点断开电机电源, 电机慢慢停止转动。

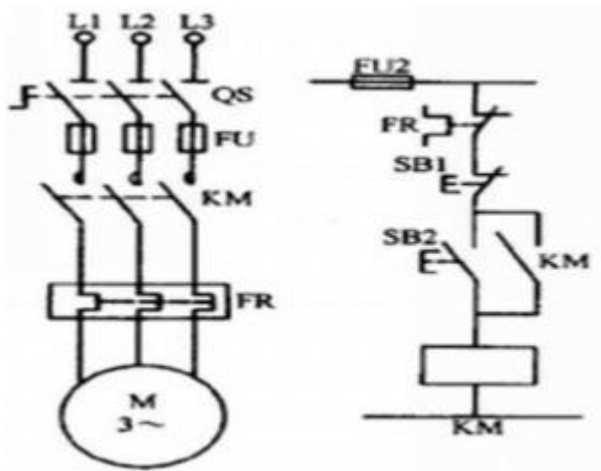


图 3-21 三相交流电机启动后、自保控制图

3、速度继电器工作时触点动作的工作原理

其转子的轴与被控电动机的轴相连接，定子空套在转子外围。当电动机运行时，速度继电器的转子随电动机轴转动，永久磁铁形成旋转磁场，定子中的笼型导条切割磁场而产生感应电动势，形成感应电流、其在磁场作用下产生电磁转矩，使定子随转子旋转方向转动，但由于有返回杠杆挡住，故定子只能随转子转动方向转动一定角度，当定子偏转到一定角度时，在杠杆 7 的作用下使常闭触头打开，常开触头闭合。

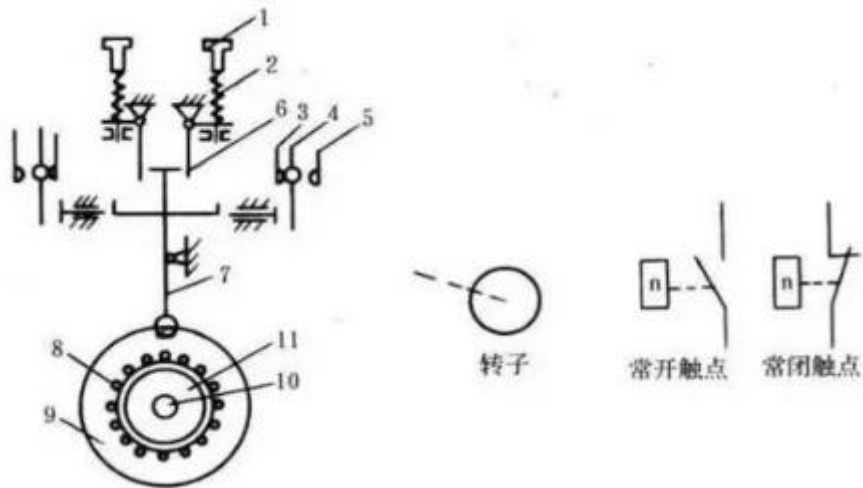


图 3-22 速度继电器控制三相交流电机图

4、正、停、反转电路的工作原理

当正转起动时，按下正转起动按钮 SB2，KM1 线圈通电吸合并自锁，电动机正向起动并旋转；当反转起动时，按下反转起动按钮 SB3，KM2 线圈通电吸合并自锁，电动机

便反向起动并旋转。在控制电路中将 KM1、KM2 正反接触器的常闭辅助触头串接在对方线圈的电路中，形成相互制约的控制，若在按下正转起动按钮 SB2，电动机已进入正转运行后，要使电动机转向改变，必须先按下停止按钮 SB1，而后再按反向起动按钮。

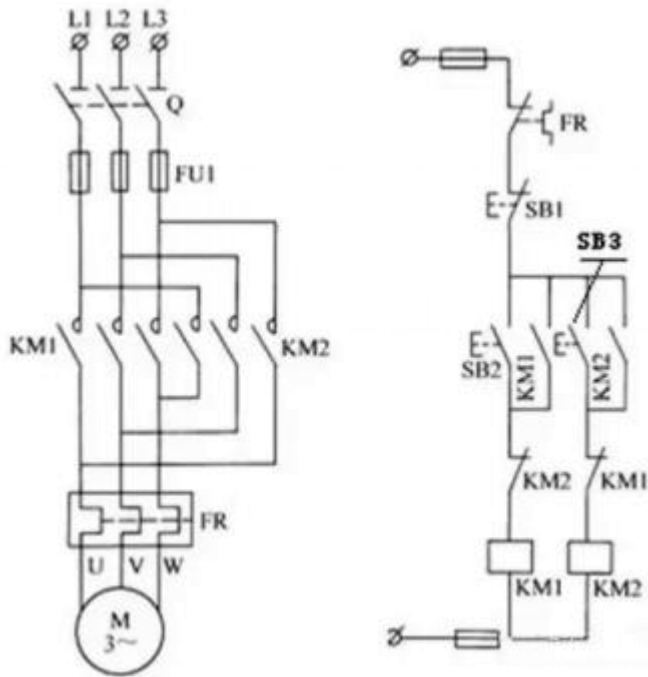


图 3-23 三相交流电机正、停、反转控制图

五、步进电动机外形及结构



图 3-24 步进电机实物图

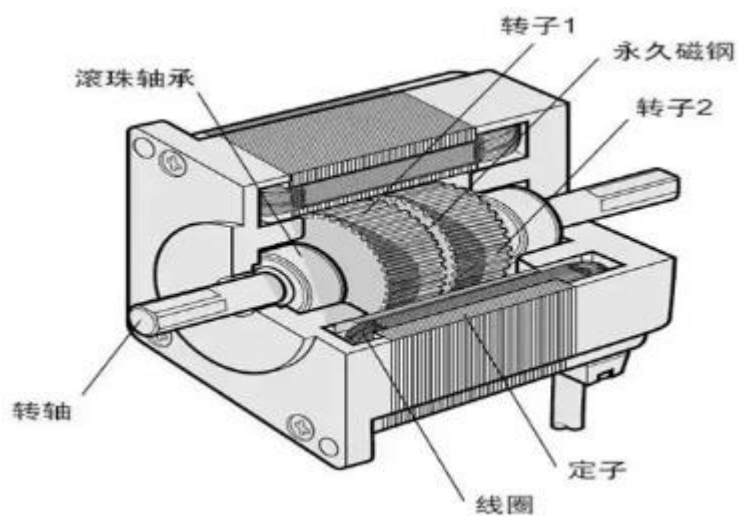


图 3-25 步进电机剖视图及结构

步进电动机是一种将电脉冲信号转换成机械角位移或线位移的开环控制式的电磁机械装置。

在非超载的情况下，电机的转速、停止的位置只取决于脉冲信号的频率和脉冲数，而不受负载变化的影响。

第四节 步进电动机工作原理

当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按照设定的方向旋转一个固定的角度，这个固定角度就称为“步距角”，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制步进电机的角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制步进电机旋转的速度和加速度，从而达到调速的目的。

一、步进电动机的分类

步进电机在构造上有三种主要类型：反应式、永磁式、混合式。

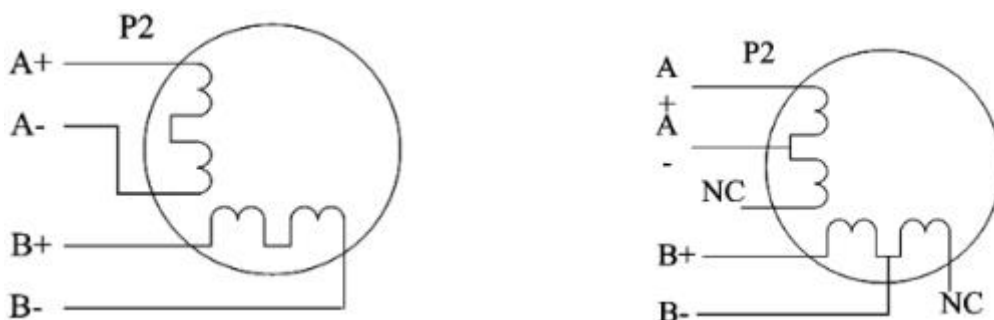
(1) 反应式：定子上有绕组、转子由软磁材料组成。结构简单、成本低、步距角小，可达 1.2° 、但动态性能差、效率低、发热大，可靠性难保证。

(2) 永磁式：永磁式步进电机的转子用永磁材料制成，转子的极数与定子的极数相同。其特点是动态性能好、输出力矩大，但这种电机精度差，步距角大（一般为 7.5° 或 15° ）。

(3) 混合式：混合式步进电机综合了反应式和永磁式的优点，其定子上有多相绕组、转子上采用永磁材料，转子和定子上均有多个小齿以提高步距精度。其特点是输出力矩大、动态性能好，步距角小，但结构复杂、成本相对较高。

按定子上绕组来分，共有二相、三相和五相等系列。最受欢迎的是两相混合式步进电机，其原因是性价比高，配上细分驱动器后效果良好。该种电机的基本步距角为 1.8° / 步，配上半步驱动器后，步距角减少为 0.9° ，配上细分驱动器后，其步距角可细分达 256 倍 (0.007° / 微步)。由于摩擦力和制造精度等原因，实际控制精度略低。同一步进电机可配不同细分的驱动器以改变精度和效果。

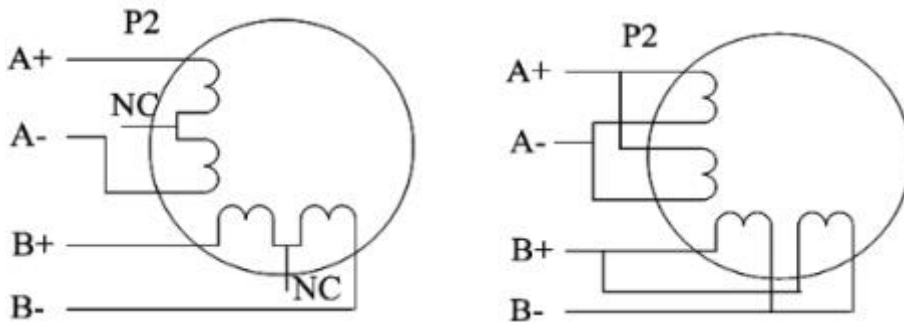
二、步进电动机基本控制



4 线电机

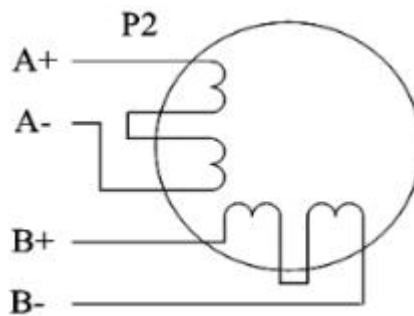
6 线电机高速模式

图 3-26 步进电机接线图



6 线电机高力矩模式

8 线电机并行接法（高速性能好）



八线电机串行接法（低速力矩大）

图 3-27 步进电机接线图

三、步进电机常用术语

1、步进电机的静态指标术语

相数：产生不同对极 N、S 磁场的激磁线圈对数，常用 m 表示。

拍数：完成一个磁场周期性变化所需脉冲数或导电状态，用 n 表示，或指电机转过一个齿距角所需脉冲数，以四相电机为例，有四相四拍运行方式，即 AB-BC-CD-DA-AB 四相八拍运行方式，即 A-AB-B-BC-C-CD-D-DA-A。

定位转矩：电机在不通电状态下，电机转子自身的锁定力矩。（由磁场齿形的谐波以及机械误差造成的）

步距角：对应一个脉冲信号，电机转子转过的角位移，用 θ 表示。 $\theta = 360 \text{ 度} / (\text{转子齿数 } J * \text{运行拍数})$ ，以常规二、四相，转子齿为 50 齿电机为例：



四拍运行时步距角为： $\theta = 360 \text{ 度} / (50 \times 4) = 1.8 \text{ 度}$ （俗称整步）

八拍运行时步距角： $\theta = 360 \text{ 度} / (50 \times 8) = 0.9 \text{ 度}$ （俗称半步）

静转矩：电机在额定静态电作用下，电机不作旋转运动时，电机转轴的锁定力矩。

虽然静转矩与电磁激磁安匝数成正比，与定齿时，电机转轴的锁定力矩。虽然静转矩与电磁激磁安匝数成正比，与定齿转子间的气隙有关，但过份采用减小气隙，增加激磁安匝来提高静力矩是不可取的，这样会造成电机的发热及机械噪音。

2、步进电机动态指标及术语

步距角精度：步进电机每转过一个步距角的实际值与理论值的误差。用百分比表示：误差/步距角*100%。不同运行拍数其值不同，四拍运行时应在 5%之内，八拍运行时应在 15%以内。

失步：电机运转时运转的步数，不等于理论上的步数，称之为失步。

失调角：转子齿轴线偏移定子齿轴线的角度，电机运转必存在失调角，由失调角产生的误差，采用细分驱动是不能解决的。电机电压及额定电流下，在不加负载的情况分驱动是不能解决的。

最大空载起动频率：电机电压及额定电流下，在不加负载的情况下，能够直接起动的最大频率。

最大空载的运行频率：电机在某种驱动形式，电压及额定电流下，电机不带负载的最高转速频率。

运行矩频特性：电机在某种测试条件下测得运行中输出力矩与频率关系的曲线称为运行矩频特性，这是电机诸多动态曲线中最重要的，也是电机选择的根本依据。

电机的共振点：步进电机均有固定的共振区域，电机驱动电压越高，电机电流越大，负载越轻，电机体积越小，则共振区向上偏移；反之亦然。

为使电机输出电矩大，不失步和整个系统的噪音降低，一般工作点均应偏移共振区较多。

电机正反转控制：当电机绕组通电时序为 AB-BC-CD-DA 或 (DA-CA-BC-AB) 时为正转，通电时序为 DA-CA-BC-AB 或 (AB-BC-CD-DA) 时为反转。

六、步进电机常见故障及分析

(1) 电机不运转

① 驱动器无供电电压



- ② 驱动器保险丝熔断
- ③ 驱动器报警(过电压、欠电压、过电流、过热)
- ④ 驱动器与电机连线断线
- ⑤ 系统参数设置不当
- ⑥ 驱动器使能信号被封锁
- ⑦ 接口信号线接触不良
- ⑧ 驱动器电路故障
- ⑨ 电机卡死或生锈
- ⑩ 指令脉冲太窄、频率过高、脉冲电平太低

(2) 电机起动后堵转

- ① 指令频率太高
- ② 负载转矩太大
- ③ 加速时间太短
- ④ 负载惯量太大
- ⑤ 电源电压降低

(3) 电机运转不均匀, 有抖动

- ① 指令脉冲不均匀
- ② 指令脉冲太窄
- ③ 指令脉冲电平不正确
- ④ 指令脉冲电平与驱动器不匹配
- ⑤ 脉冲信号存在噪声
- ⑥ 脉冲频率与机械发生共振

(4) 电机运转不规则, 正反转地摇摆

- ① 指令脉冲频率与电机发生共振
- ② 外部干扰

(5) 电机定位不准

- ① 加减速时间太小
- ② 存在干扰噪声
- ③ 系统屏蔽不良

(6) 电机过热

- ① 工作环境过于恶劣, 环境温度过高



② 参数选择不当，如电流过大，超过相电流

③ 电压过高

(7) 工作过程中停车：

① 驱动电源故障

② 电动机线圈匝间短路或接地

③ 绕组烧坏

④ 脉冲发生电路故障

⑤ 杂物卡住

(8) 噪声大

① 电机运行在低频区或共振区

② 纯惯性负载、短程序、正反转频繁

③ 混合式或永磁式转子磁钢退磁后以单步运行或在失步区

(9) 失步或者多步

① 负载过大，超过电动机的承载能力

② 负载忽大忽小

③ 负载的转动惯量过大，启动时失步、停车时过冲

④ 传动间隙大小不均

⑤ 传动间隙产生的零件有弹性变形

⑥ 电动机工作在震荡失步区

⑦ 电路总清零使用不当

⑧ 干扰

⑨ 定、转子相擦

(10) 无力或者是出力降低

① 驱动电源故障

② 电动机绕组内部发生错误

③ 电动机绕组碰到机壳，发生相间短路或者线头脱落

④ 电动机轴断

⑤ 电动机定子与转子之间的气隙过大

⑥ 电源电压过低

(11) 不能启动

① 工作方式不对



- ② 驱动电路故障
- ③ 遥控时，线路压降过大
- ④ 安装不正确，或电动机本身轴承、止口等故障使电动机不转
- ⑤ N、S极接错
- ⑥ 长期在潮湿场所存放，造成电动机部分生锈

(12) 步进电机旋转方向反向

可以调整电机的接线来改变方向，具体做法如下：

对于两相电机，只需将其中一相的电机线交换接入驱动器即可，如 A+和 A-交换。

对于三相电机，将相邻两相的电机线交换，如：A, B, C 三相，交换 A, B 两相就可

(13) 步进电机振动大，噪声也很大遇到这种情况是因为步进电机工作在振荡区，
解决办法：

- ① 改变输入信号频率 CP 来避开振荡区。
- ② 采用细分驱动器，使步距角减少，运行平滑些。

(14) 步进电机不运转

- ① 过载堵转(此时电机有啸叫声)
- ② 电机是否处于脱机状态
- ③ 控制系统是否有脉冲信号给步进电机驱动器，接线是否有问题

(15) 步进电机抖动，不能连续运行

遇到这种情况，首先检查电机的绕组与驱动器连接有没有接错检查输入脉冲信号频率是否太高，是否升降频设计不合理。

(16) 步进电机容易发热

① 减少电机发热，减少发热，就是减少铜损和铁损。减少铜损有两个方向，减少电阴和电流，这就要求在选型时尽量选择电阻小和额定电流小的电机，对两相电机，能用串联的电机就不用并联电机，但是这往往与力矩和高速的要求相抵触。

② 对于已经选定的电机，则应充分利用驱动器的自动半流控制功能和脱机功能，前者在电机处于静态时自动减少电流，后者干脆将电流切断。

③ 另外，细分驱动器由于电流波形接近正弦，谐波少，电机发热也会较少。减少铁损的办法不多，电压等级与之有关，高压驱动电机虽然会带来高速特性的提升，但也带来发热的增加。

- ④ 应当选择合适的驱动电机电压等级，兼顾高带性、平稳性和发热、噪音等指标。



第五节 伺服电动机

一、伺服电动机外形

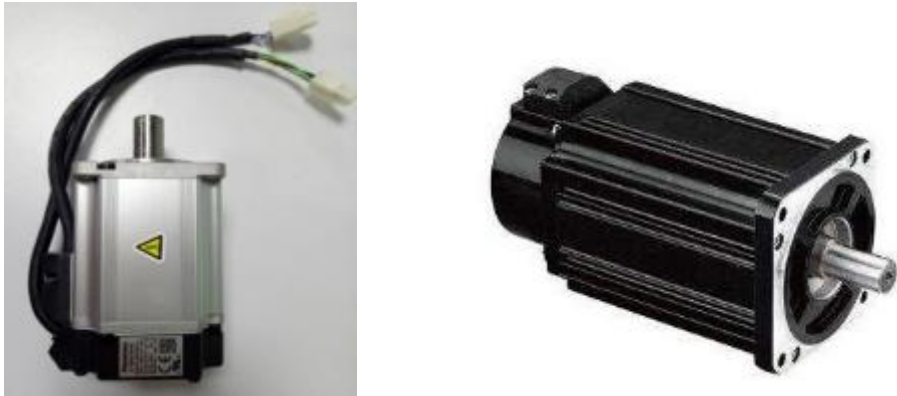


图 3-28 伺服电机实物图

伺服电机内部的转子是永磁铁，驱动器控制的 U/V/W 三相电形成电磁场，转子在此磁场的作用下转动，同时电机自带的编码器反馈信号给驱动器，驱动器根据反馈值与目标值进行比较，调整转子转动的角度。伺服电机的精度决定于编码器的精度（线数）。

二、伺服电动机工作原理

伺服系统（servo mechanism）是使物体的位置、方位、状态等输出被控量能够跟随输入目标（或给定值）的任意变化的自动控制系统。

伺服主要靠脉冲来定位，伺服电机接收到 1 个脉冲，就会旋转 1 个脉冲对应的角度，从而实现位移。因为伺服电机本身具备发出脉冲的功能，所以伺服电机每旋转一个角度，都会发出对应数量的脉冲。这样，和伺服电机接受的脉冲形成了呼应，或者叫闭环。如此一来，系统就会知道发了多少脉冲给伺服电机，同时又收了多少脉冲回来。这样，就能够很精确的控制电机的转动，从而实现精确的定位，可以达到 0.001mm。

三、伺服电动机的分类

1、直流伺服电机

直流伺服电机分为有刷电机和无刷电机。



有刷电机:结构简单,成本低,启动转矩大,调速范围宽,控制容易,需要维护,但维护不方便(换碳刷),产生电磁干扰,对环境有要求。因此它可以用于对成本敏感的普通工业和民用场合。

无刷电机:体积小,重量轻,出力大,响应快,速度高,惯量小,转动平滑,力矩稳定。控制复杂,容易实现智能化,其电子换相方式灵活,可以方波换相或正弦波换相。电机免维护,效率很高,运行温度低,电磁辐射很小,长寿命,可用于各种环境。

2、直流伺服电机的特点

(1) 小惯量直流伺服电动机

- ① 转子细而长,大大减小了电动机的转动惯量,快速响应性能好。
- ② 气隙较大,换向性好,时间常数 5-10ms。
- ③ 转子上无槽,电感小,时间常数小,动态特性好,响应快,低速运转稳定而均匀。
- ④ 气隙磁密度大,过载能力强。转速 1-3000r/min,最大转矩约 20N.m,但输出需加齿轮减速。

(2) 大惯量直流伺服电动机

- ① 转矩大
- ② 调速范围宽 1000~1500r/min
- ③ 转动惯量小,设计时可忽略其它传动件的转动惯量。
- ④ 动态响应好
- ⑤ 过载能力强,最大峰值转矩可达额定转矩的 10 倍,可在 3 倍额定转矩的过载条件下工作 30min,但快速响应性能不如小惯量电机。

3、交流伺服电机

交流伺服电机分为同步和异步电机,目前运动控制中一般都用同步电机,它的功率范围大,可以做到很大的功率。大惯量,最高转动速度低,且随着功率增大而快速降低。因而适合做低速平稳运行的应用。

四、伺服电动机基本控制

伺服电动机是闭环控制器控制的电机,比普通电机多个编码器反馈,能够根据给定和反馈来计算输出目标值,控制电机的运动速度及位移的机械。伺服机电控制速度、位置非常准确。

1、伺服电动机的控制方法:



伺服电机一般为三个环控制，所谓三环就是 3 个闭环负反馈 PID 调节系统。

第 1 环：最内的 PID 环就是电流环。

此环完全在伺服驱动器内部进行，通过霍尔装置检测驱动器给电机的各相的输出电流，负反馈给电流的设定进行 PID 调节，从而达到输出电流尽量接近等于设定电流，电流环就是控制电机转矩的，所以在转矩模式下驱动器的运算最小，动态响应最快。

第 2 环：是速度环。

通过检测的电机编码器的信号来进行负反馈 PID 调节，它的环内 PID 输出直接就是电流环的设定，所以速度环控制时就包含了速度环和电流环，换句话说任何模式都必须使用电流环，电流环是控制的根本，在速度和位置控制的同时系统实际也在进行电流(转矩)的控制以达到对速度和位置的相应控制。

第 3 环：是位置环。

它是最外环，可以在驱动器和电机编码器间构建也可以在外部控制器和电机编码器或最终负载间构建，要根据实际情况来定。由于位置控制环内部输出就是速度环的设定，位置控制模式下系统进行了所有 3 个环的运算，此时的系统运算量最大，动态响应速度也最慢。

位置环、速度环的参数调节没有什么固定的数值，要根据外部负载的机械传动连接方式、负载的运动方式、负载惯量、对速度、加速度要求以及电机本身的转子惯量和输出惯量等等很多条件来决定，调节的简单方法是在根据外部负载的情况进行大体经验的范围内将增益参数从小往大调，积分时间常数从大往小调，以不出现震动超调的稳态值为最佳值进行设定。

当进行位置模式需要调节位置环时，最好先调节速度环(此时位置环的比例增益设定在经验值的最小值)，调节速度环稳定后，在调节位置环增益，适量逐步增加，位置环的响应最好比速度环慢一点，不然也容易出现速度震荡。

控制:转矩控制方式是通过外部模拟量的输入或直接的地址的赋值来设定电机轴对外的输出转矩的大小，具体表现为：例如 10V 对应 5Nm 的话，当外部模拟量设定为 5V 时电机轴输出为 2.5Nm。如果电机轴负载低于 2.5Nm 时电机正转，外部负载等于 2.5Nm 时电机不转，大于 2.5Nm 时电机反转(通常在有重力负载情况下产生)。可以通过即时的改变模拟量的设定来改变设定的力矩大小，也可通过通讯方式改变对应的地址的数值来



实现。应用主要在对材质的受力有严格要求的缠绕和放卷的装置中，例如：绕线装置或拉光纤设备，转矩的设定要根据缠绕的半径的变化随时更改以确保材质的受力不会随着缠绕半径的变化而改变。

速度模式:通过模拟量的输入或脉冲的频率都可以进行转动速度的控制，在有上位控制装置的外环PID控制时速度模式也可以进行定位，但必须把电机的位置信号或直接负载的位置信号给上位反馈以做运算用。位置模式也支持直接负载外环检测位置信号，此时的电机轴端的编码器只检测电机转速，位置信号就由直接的最终负载端的检测装置来提供了，这样的优点在于可以减少中间传动过程中的误差，增加整个系统的定位精度。

位置控制:位置控制模式一般是通过外部输入的脉冲的频率来确定转动速度的大小，通过脉冲的个数来确定转动的角度，也有些伺服可以通过通讯方式直接对速度和位移进行赋值。由于位置模式可以对速度和位置都有很严格的控制，所以一般应用于定位装置。

2、伺服电机主要的故障和分析：

(1) 电机编码器报警：故障原因

- ①接线错误；
- ②电磁干扰；
- ③机械振动导致的编码器硬件损坏；
- ④现场环境导致的污染。

故障排除

- ①检查接线并排除错误；
- ②检查屏蔽是否到位，检查布线是否合理并解决，必要时增加滤波器加以改善；
- ③检查机械结构，并加以改进；
- ④检查编码器内部是否受到污染、腐蚀（粉尘、油污等），加强防护、安装及接线标准；
- ⑤尽量使用原装电缆；
- ⑥分离电缆使其尽量远离污染接线，特别是高污染接线；
- ⑦尽可能始终使用内部电源，如果使用开关电源，则应使用滤波器，确保电源达到洁净等级；
- ⑧始终将公共端接地；
- ⑨将编码器外壳与机器结构保持绝缘并连接到电缆屏蔽层；



⑩如果无法使编码器绝缘,则可将电缆屏蔽层连接到编码器外壳和驱动器框架上的接地(或专用端子)。

(2) 电机断轴

故障原因

- ①机械设计不合理导致径向负载力过大;
- ②负载端卡死或者严重的瞬间过载;
- ③电机和减速机装配时不同心;

故障排除

- ①核对电机样本中可承受的最大径向负载力,改进机械设计;
- ②检查负载端的运行情况,确认实际的工艺要求并加以改进;
- ③检查负载运行是否稳定,是否存在震动,并加以改进机械装配精度。

(3) 电动机空载电流不平衡,三相相差大

故障原因

- ①绕组首尾端接错;
- ②电源电压不平衡;
- ③绕组存在匝间短路、线圈反接等故障。

故障排除

- ①检查并纠正;
- ②测量电源电压,设法消除不平衡;
- ③消除绕组故障。

(4) 电动机运行时响声不正常有异响

故障原因

- ①轴承磨损或油内有砂粒等异物;
- ②转子铁芯松动;
- ③轴承缺油;
- ④电源电压过高或不平衡。

故障排除

- ①更换轴承或清洗轴承;
- ②检修转子铁芯;
- ③加油;
- ④检查并调整电源电压。



(5) 电动机起动困难，额定负载时电动机转速低于额定转速较多。

故障原因

- ①电源电压过低；
- ②面接法电机误接；
- ③转子开焊或断裂；
- ④转子局部线圈错接、接反；
- ⑤修复电机绕组时增加匝数过多；；
- ⑥电机过载。

故障排除

- ①测量电源电压，设法改善；
- ②纠正接法；
- ③检查开焊和断点并修复；；
- ④查出误接处予以改正；
- ⑤恢复正确匝数；
- ⑥减载；

(6) 通电后电动机不能转动，但无异响，也无异味和冒烟。

故障原因

- ①电源未通（至少两相未通）；
- ②熔丝熔断（至少两相熔断）；
- ③过流继电器调得过小；
- ④控制设备接线错误。

故障排除

- ①检查电源回路开关，熔丝、接线盒处是否有断点，修复；
- ②检查熔丝型号、熔断原因，换新熔丝；
- ③调节继电器整定值与电动机配合；；
- ④改正接线。

(7) 运行中电动机振动较大

故障原因

- ①由于磨损轴承间隙过大；
- ②气隙不均匀；
- ③转子不平衡；



- ④转轴弯曲；
- ⑤联轴器（皮带轮）同轴度过低。

故障排除

- ①检修轴承，必要时更换；
- ②调整气隙，使之均匀；
- ③校正转子动平衡；
- ④校直转轴；
- ⑤重新校正，使之符合规定。

（8）通电后电机不转有嗡嗡声

故障原因

- ①转子绕组有断路（一相断线）或电源一相失电；
- ②绕组引出线始末端接错或绕组内部接反；
- ③电源回路接点松动，接触电阻大；
- ④电动机负载过大或转子卡住；
- ⑤电源电压过低；
- ⑥小型电动机装配太紧或轴承内油脂过硬；
- ⑦轴承卡住。

故障排除

- ①查明断点予以修复；
- ②检查绕组极性；判断绕组末端是否正确；
- ③紧固松动的接线螺丝，用万用表判断各接头是否假接，予以修复；
- ④减载或查出并消除机械故障；
- ⑤检查是否把规定的面接法误接；是否由于电源导线过细使压降过大，予以纠正；
- ⑥重新装配使之灵活；更换合格油脂；
- ⑦修复轴承。

（9）轴承过热

故障原因

- ①滑脂过多或过少；
- ②油质不好含有杂质；
- ③轴承与轴颈或端盖配合不当（过松或过紧）；



- ④轴承内孔偏心，与轴相擦；
- ⑤电动机端盖或轴承盖未装平；
- ⑥电动机与负载间联轴器未校正，或皮带过紧；
- ⑦轴承间隙过大或过小；
- ⑧电动机轴弯曲。

故障排除

- ①按规定加润滑脂（容积的 1/3-2/3）；
- ②更换清洁的润滑脂；
- ③过松可用粘结剂修复，过紧应车，磨轴颈或端盖内孔，使之适合；
- ④修理轴承盖，消除擦点；更多精彩内容请关注微信号技成培训；
- ⑤重新装配；
- ⑥重新校正，调整皮带张力；
- ⑦更换新轴承；
- ⑧校正电机轴或更换转子。

（10）电机过热甚至冒烟

故障原因

- ①电源电压过高；
- ②电源电压过低，电动机又带额定负载运行，电流过大使绕组发热；
- ③修理拆除绕组时，采用热拆法不当，烧伤铁芯；
- ④电动机过载或频繁起动；
- ⑤电动机缺相，两相运行；
- ⑥重绕后定于绕组浸漆不充分；
- ⑦环境温度高电动机表面污垢多，或通风道堵塞。

故障排除

- ①降低电源电压（如调整供电变压器分接头）；
- ②提高电源电压或换粗供电导线；
- ③检修铁芯，排除故障；
- ④减载；按规定次数控制起动；
- ⑤恢复三相运行；
- ⑥采用二次浸漆及真空浸漆工艺；
- ⑦清洗电动机，改善环境温度，采用降温措施。





【思考与练习题】

一、简述题。

- (1) 直流电机的主要结构是什么？
- (2) 单相交流电机的主要结构是什么？
- (3) 三相交流电机的主要结构是什么？
- (4) 步进电机的主要结构是什么？
- (5) 伺服电机的主要结构是什么？
- (6) 步进电机常见的故障有哪些及其故障原因的分析？
- (7) 伺服电机常见的控制方式有哪些？



第四章 常用调节器和控制器

【教学目标】

- (1) 熟悉单相交流电动机速度调节器的调试方法。
- (2) 了解变频器的工作原理，掌握变频器的基本调试方法。
- (3) 了解步进驱动器的工作原理，掌握步进驱动器的基本调试方法。
- (4) 了解伺服控制器的工作原理，掌握伺服控制器的基本调试方法。

第一节 单相交流电动机速度调节器



图 4-1 单相交流电动机速度调节器及单相交流电动机实物图

一、单相交流电动机速度调节器的功能、用途

速度调节器是单相交流电容运转电机和单相串激电机配套使用的产品，速度调节器通过调节输出给单相交流电动机的电压，达到恒转矩无级调速的目的，有较宽的调速范围和运转过程速度平稳。特点是体积小、重量轻、耗能低、寿命长，广泛用于包装、印刷、服装、食品、医疗等各行业中。在电池 PACK 自动线常用于良品 PACK 载具的输送、空载具的回流、PACK 不良品载具的输送等。

1、主要技术参数（型号：US-52 速度调节器）：

工作电源：交流 220V \pm 10%、50HZ/60HZ

调速范围：50HZ 90 - 1400 r/min 60HZ 90-1700 r/min

控制电机容量： \leq 250W

环境温度： $-10^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$

安装方式：面板插入式



图 4-2 单相交流电动机速度调节器面板

2、速度设定:

通过旋转速度调节器面板上的电位器，来调试到需要的速度（最大不能超过电机额定转速）。

3、安装及使用注意事项:

- (1) 按接线图正确接线，避免人为损坏。
 - (2) 接线要牢固，避免线头发热烧坏。
 - (3) 接线后检查，不能碰触临近接线头。
 - (4) 保持调节器干燥，清洁。
 - (5) 想要改变电动机的运转方向，需重接调节器背面接线端子上的接线。要变更电动机的运转方向前，必须先断开调节器的电源、等电动机停止运转后，方可变换。
- ① 调节器接线选择 COM 与 CW 短接，则电动机顺时针运转。
 - ② 调节器接线选择 COM 与 CCW 短接，则电动机逆时针运转。
- (6) 调节器控制面板上的控制开关，只作为抑制电动机的动作停止，不作为调节器电源中断使用。
- (7) 长时间不使用调节器，请将其电源关闭。
- (8) 安装电动机的位置，请远离有腐蚀性气体或其它液体易溅到的地方。

(9) 调速电动机不可长时间低速运转，以免因电动机低速运行电流过大，造成电动机烧毁。



图 4-3 单相交流电动机速度调节器接线

4、单相交流电动机的调速方法：

(1) 变极调速 (2) 降压调速 (3) 抽头调速

变极调速：在单相电机中，有倍极调速和非倍极调速之分。倍极调速电机，一般定子上只有一套绕组，用改变绕组端部连接方法获得不同的极对数，以达到调整旋转磁场的转速。在极数比较大的变极调速中，定子槽中安放两套不同极数的独立绕组。实际上相当于两台不同极数的单速电动机的组合，其原理和性能与一般单相异步电动机一样。

降压调速：如串联电抗器(吊扇)、串联电容、自耦变压器和串联可控硅调压调速。空调中最常用的调压调速是可控硅调压调速。

可控硅调速是改变可控硅导通角的方法，改变电动机端电压的波形，从而改变了电动机的端电压的有效值。

抽头调速：电容运转电动机在调速范围不大时，普遍采用定子绕组抽头调速。此时定子槽中放置有主绕组、副绕组及调速绕组，通过改变调速绕组与主、副绕组的联接方式，调整气隙磁场大小来实现调速的目的。

一般电容运转单相电机，主绕组与副绕组嵌在不同的槽中，绕组与铁芯间由聚酯纤维无纺布隔开，其在空间一般相差 90 度电角度，且副绕组通过串联一个工作电容器后与主绕组并接于电源。当电机通电后，主绕组与副绕组在气隙中共同形成一个有方向有幅值强度的旋转磁场。其方向与主、副绕组所处的空间位置等有关，它决定了电机的转



向；该旋转磁场与转子鼠笼转子相互作用，使电动机按一定的方向旋转。若调换主副绕组的空间位置，则旋转磁场的旋转方向会相反，该反方向的旋转磁场与转子相互作用，使电动机的转向也会相反。

第二节 变频器

变频器(Variable-frequency Drive, VFD)是应用变频技术与微电子技术,通过改变电动机工作电源频率的方式来控制交流电动机的电力控制设备。



图 4-4 变频器实物图

一、变频器的功能、用途

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。

变频器靠内部 IGBT 的开断来调整输出电源的电压和频率,根据电动机的实际需要来提供其所需要的电源电压,进而达到节能、调速的目的。另外,变频器还有很多的保护功能,如:过电流、过电压、过载保护等。随着工业自动化程度的

不断提高，变频器也得到了非常广泛的应用，在电池 PACK 自动线，成品电池尺寸测量 APMT 设备的转动盘驱动电动机便是由变频器控制的。

二、变频器的接线

当变频器主电路接好电源线之后，要控制电动机的运行，还需要给有关端子接上外围控制电路，并且将变频器的启动方式参数设为外部操作模式。

变频器控制电动机运转，常见的有两种方式，分别是开关控制方式和继电器控制方式。

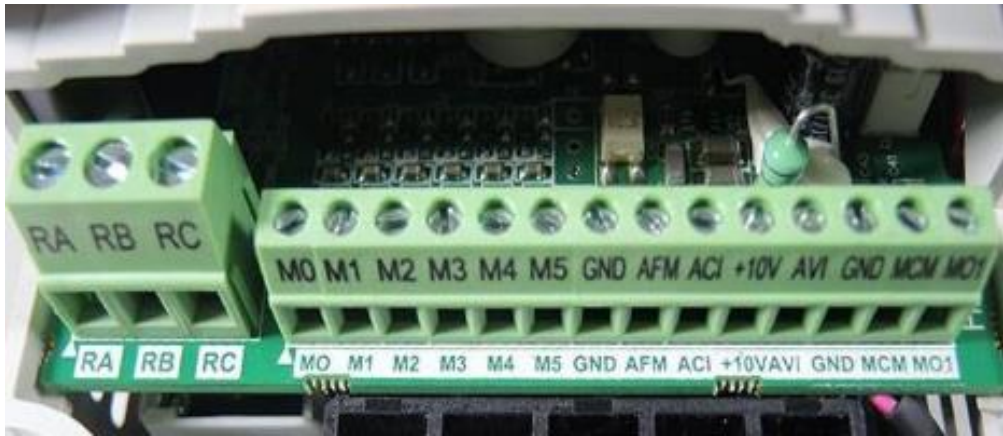


图 4-5 变频器的接线端口

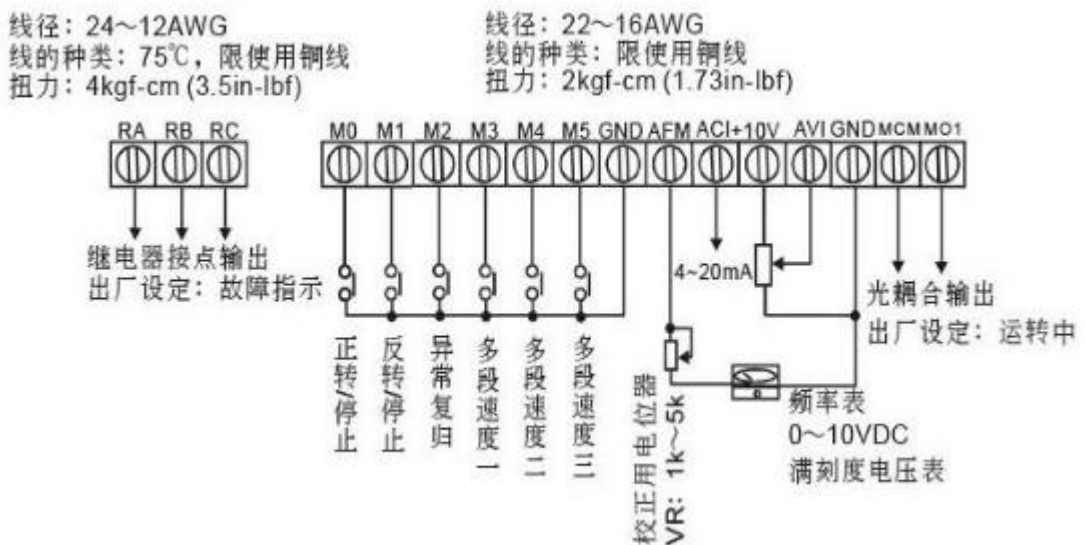


图 4-6 变频器的接线图

1、开关控制的正转控制电路

开关控制的正转控制电路如下图 4-7 所示，它是依靠手动操作变频器 STF 端子外接开关 SA，来对电动机进行正转控制。

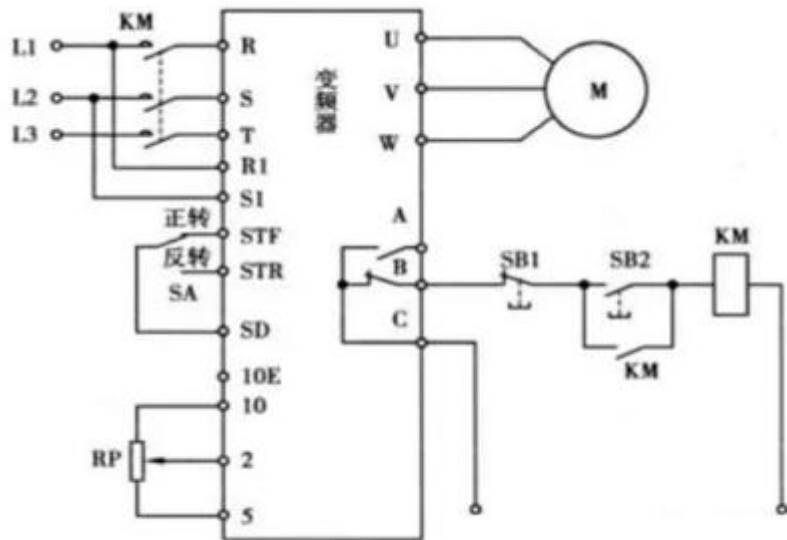


图 4-7 变频器的开关控制正转控制电路图

图 4-7 变频器的开关控制正转控制电路工作原理说明如下：

(1) 启动准备：按下按钮 SB2，接触器 KM 线圈得电，KM 常开辅助触点和主触点均闭合，常开辅助触点闭合锁定 KM 线圈得电自锁，KM 主触点闭合为变频器接通主电源。

(2) 正转控制：按下变频器 STF 端子外接开关 SA，STF、SD 端子接通，相当于 STF 端子输、输入正转控制信号，变频器 U、V、W 端子输出正转电源电压，驱动电动机正向运转。调节端子外电位器 RP，变频器输出电源频率会发生改变，电动机转速也随之变化。

(3) 变频器异常保护：若变频器运行期间出现异常或故障，变频器 B、C 端子间内部等效的常闭开关断开，接触器 KM 线圈失电，KM 主触点断开，切断变频器输入电源，对变频器进行保护。

(4) 停转控制：在变频器正常工作时，将开关 SA 断开，STF、SD 端子断开，变频器停止输出电源，电动机停转。若要切断变频器输入主电源，可按下按钮 SB1，接触器 KM 线圈失电，KM 主触点断开，变频器输入电源被切断。

2、继电器控制的正转控制电路

图 4-8 变频器的继电器控制正转控制电路工作原理说明如下：

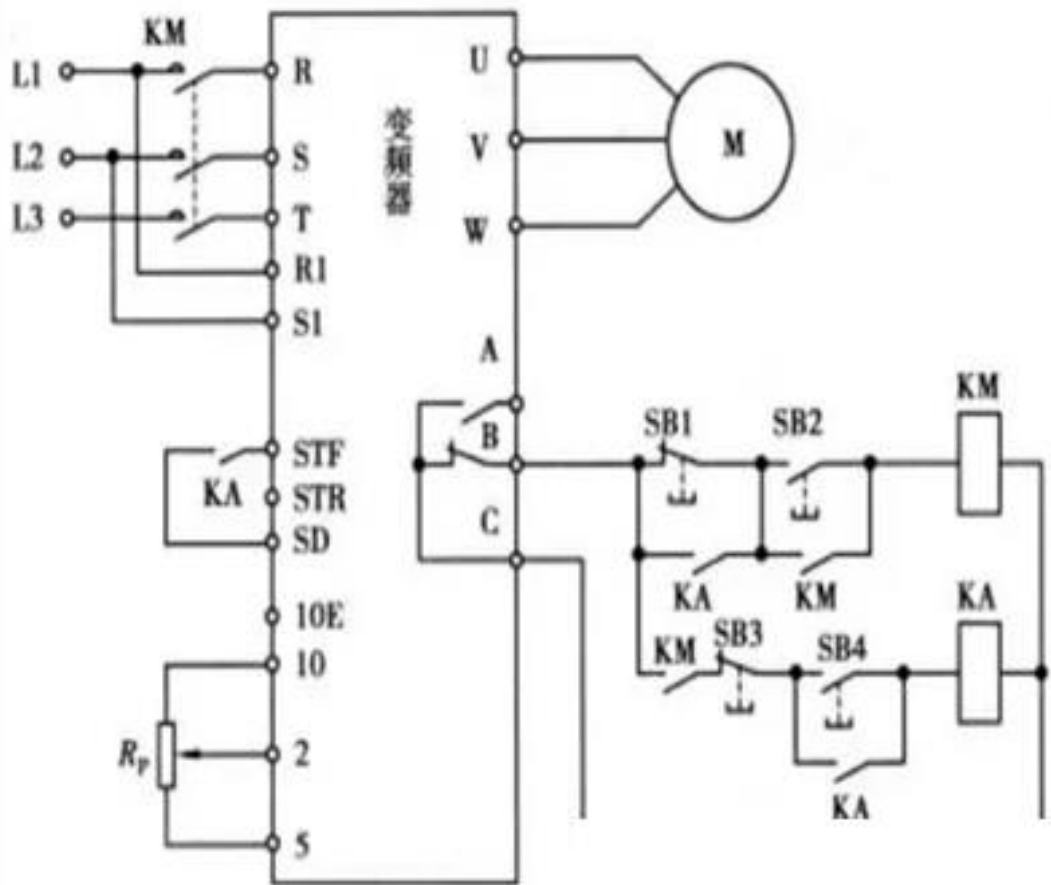


图 4-8 变频器的继电器控制正转控制电路图

电路工作原理说明如下：

(1) 启动准备：按下按钮 SB2，接触器 KM 线圈得电，KM 主触点和两个常开辅助触点均闭合，KM 主触点闭合为变频器接通主电源，一个 KM 常开辅助触点闭



合，锁定 KM 线圈得电，另一个 KM 常开辅助触点闭合，为中间继电器 KA 线圈得电作准备。

(2) 正转控制：按下按钮 SB4，继电器 KA 线圈得电，3 个 KA 常开触点均闭合，一个常开触点闭合锁定 KA 线圈得电，一个常开触点闭合将按钮 SB1 短接，还有一个常开触点闭合将 STF、SD 端子接通，相当于 STF 端子输入正转控制信号，变频器 U、V、W 端子输出正转电源电压，驱动电动机正向运转。调节端子外接的电位器 RP，变频器的输出电源频率会发生改变，电动机转速也随之变化。

(3) 变频器异常保护：若变频器运行期间出现故障，变频器 B、C 端子之间内部等效的常闭开关断开，接触器 KM 线圈失电，KM 主触点断开，切断变频器输入电源，对变频器进行保护，同时继电器 KA 线圈也失电，3 个 KA 常开触点均断开。

(4) 停转控制：在变频器正常工作时，按下按钮 SB3，KA 线圈失电，KA 3 个常开触点均断开，其中一个 KA 常开触点断开，使 STF、SD 端子连接切断，变频器停止输出电源，电动机停转。

在变频器运行时，若要切断变频器输入主电源，须先对变频器进行停转控制，再按下按钮 SB1，接触器 KM 线圈失电，KM 主触点断开，变频器输入电源被切断，如果没有对变频器进行停转控制，而直接去按 SB1，是无法切断变频器输入主电源的。

这是因为变频器正常工作时 KA 常开触点已将 SB1 短接，断开 SB1 无效，这样做可以防止在变频器工作时误操作 SB1 切断主电源。

第三节 步进驱动器



图 4-9 步进驱动器实物图

步进电机驱动器是一种将电脉冲转化为角位移的执行机构。当步进驱动器接收到一个脉冲信号，它就驱动步进电机按设定的方向转动一个固定的角度(称为“步距角”)，它的旋转是以固定的角度一步一步运行的。可以通过控制脉冲个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的；同时可以通过控制脉冲频率来控制步进电机转动的速度和加速度，从而达到调速和定位的目的。

一、步进驱动器的功能、用途

步进电动机和步进电动机驱动器构成步进电机驱动系统。步进电动机驱动系统的性能，不但取决于步进电动机自身的性能，也取决于步进电动机驱动器的优劣。对步进电动机驱动器的研究几乎是与步进电动机的研究同步进行的。

步进电动机不能直接接到直流或交流电源上工作，必须使用专用的驱动电源(步进电动机驱动器)。步进驱动器(脉冲信号发生器)可以通过控制脉冲的个数来控制角位移量，从而达到准确定位的目的。

1、步进驱动器的组成

步进电机驱动器主要结构主要有以下部分：

(1) 环行分配器：根据输入信号的要求，产生步进电机在不同状态下的开关波形信号处理，对环行分配器产生的开关信号波形进行 PWM 调制，以及对相关的波形进行滤波整形处理。

(2) 保护电路：当步进电机的绕组电流过大时，产生关断信号对主回路进行关断，以保护电机驱动器和电机绕组。

(3) 传感器：对电机的位置和角度进行实时监控，传回信号的产生装置。

二、步进驱动器的接线

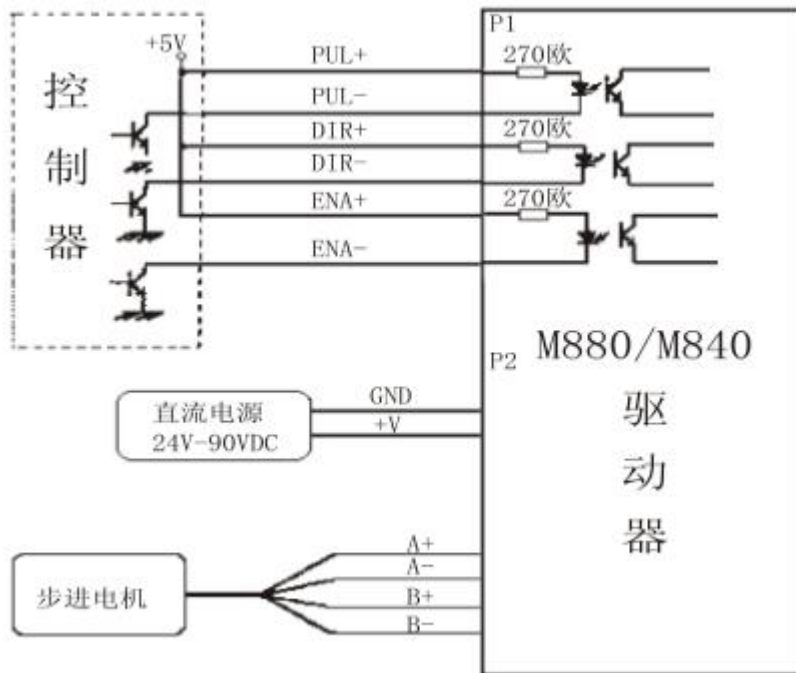


图 4-10 步进驱动器的接线图

三、步进驱动器的调试

1、步进驱动器的细分设定：

步进电机驱动器的细分越高，步进电机的控制精度不一定越高。比如步进电机驱动器细分较高的可以达到 60000 个脉冲/转，而步进电机实际是无法分辨这个精度的，当驱动器设置为 60000 个脉冲/转的时候，步进电机驱动器接收好几个脉冲，步进电机才走一步，这样并不能提高步进电机的精度。

步进电机的细分技术实质上是一种电子阻尼技术，其主要目的是减弱或消除步进电机的低频振动，提高电机的运转精度只是细分技术的一个附带功能。细分后电机运行时的实际步距角是基本步距角的几分之一，两相步进电机的基本步距角是 1.8° ，即一个脉冲走 1.8° 。如果没有细分，则是 200 个脉冲走一圈 360° ，细分是通过驱动器靠精确控制电机的相电流所产生的，与电机无关，如果是 10 细分，则发一个脉冲电机走 0.18° ，即 2000 个脉冲走一圈 360° 。电机的精度能否达到或接近 0.18° ，



还取决于细分驱动器的细分电流控制精度等其它因素。不同厂家的细分驱动器精度可能差别很大；细分数越大精度越难控制，以次类推。

三相步进电机的基本步距角是 1.2° ，即一个脉冲走 1.2° ，如果没有细分，则是 300 个脉冲走一圈 360° ，如果是 10 细分，则发一个脉冲，电机走 0.12° ，即 3000 个脉冲走一圈 360° ，以次类推。在电机实际使用时，如果对转速要求较高，且对精度和平稳性要求不高的场合，不必选高细分。在实际使用时，如果转速很低情况下，应该选大细分，确保平滑，减少振动和噪音。

表 4-1 步进驱动器细分设定表

细分倍数	步数/圈(1.8° /整步)	SW5	SW6	SW7	SW8
2	400	ON	ON	ON	ON
4	800	ON	OFF	ON	ON
8	1600	ON	ON	OFF	ON
16	3200	ON	OFF	OFF	ON
32	6400	ON	ON	ON	OFF
64	12800	ON	OFF	ON	OFF
128	25600	ON	ON	OFF	OFF
256	51200	ON	OFF	OFF	OFF
5	1000	OFF	ON	ON	ON
10	2000	OFF	OFF	ON	ON
25	5000	OFF	ON	OFF	ON
50	10000	OFF	OFF	OFF	ON
125	25000	OFF	ON	ON	OFF
250	50000	OFF	OFF	ON	OFF

2、步进驱动器的电流设定：

步进电机的额定电流是指额定工况的相电流，但不表示步进电机一定在这个电流下工作，这个额定电流只是推荐值，实际可以低于或高于这个电流工作。当不需要额定电流对应的那么大的力矩的时候，可以降低电流来降低发热、减小振动和噪声；当电机需要更大力矩，又不想更换更大电机（成本会高，尺寸大了。），可以适当加大工作电流，但要考虑电机的发热是不是在合理范围，一般电机表面温度在 80° 之内是没有问题的。如果电机不是连续工作，或散热条件比较好，就可以适当加大工作电流。

电流是电机运行的载体，但电压的高低也直接影响到电流。很多人使用步进电机存在误区，认为半流的作用是减小发热，其实半流是节约电能考虑的。低劣而发热的电机，能耗本来就高，一定要通过静态半流来控制电机的发热。

表 4-2 步进驱动器电流设定表

M840电流值	M880电流值	SW1	SW2	SW3
1.4A	2.8A	ON	ON	ON
1.8A	3.5A	OFF	ON	ON
2.1A	4.2A	ON	OFF	ON
2.5A	4.9A	OFF	OFF	ON
2.9A	5.7A	ON	ON	OFF
3.2A	6.4A	OFF	ON	OFF
3.5A	7.0A	ON	OFF	OFF
3.9A	7.8A	OFF	OFF	OFF

3、步进驱动器拨码开关：

步进驱动器上的拨码开关主要用于驱动器的工作电流、细分、是否半流等参数的设置，驱动器可以利用拨码开关进行电机控制参数自动整定。

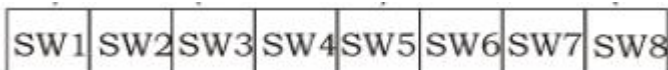


图 4-11 步进驱动器的拨码开关图

第四节 伺服控制器



图 4-12 伺服控制器实物图

伺服驱动器(servo drives)又称为“伺服控制器”“伺服放大器”，是用来控制伺服电机的一种控制器，其作用类似于变频器作用于普通交流电动机，属于伺服系统对伺服电动机的控制，实现高精度的传动系统定位，目前是传动技术的高端产品。



图 4-13 伺服控制器实物图

一、伺服控制器的功能、用途

目前主流的伺服驱动器均采用数字信号处理器（DSP）作为控制核心，可以实现比较复杂的控制算法，实现数字化、网络化和智能化。功率器件普遍采用以智能功率模块（IPM）为核心设计的驱动电路，IPM 内部集成了驱动电路，同时具有过电压、过电流、过热、欠压等故障检测保护电路，在主回路中还加入软启动电路，以减小启动过程对驱动器的冲击。功率驱动单元首先通过三相全桥整流电路对输入的三相电或者市电进行整流，得到相应的直流电。经过整流好的三相电或市电，再通过三相正弦 PWM 电压型逆变器变频来驱动三相永磁式同步交流伺服电机。功率驱动单元的整个过程可以简单的说就是 AC-DC-AC 的过程。

二、伺服控制器的控制方式



伺服系统有位置控制、速度控制、转矩控制以及三者的组合等多种控制模式，但大多数场合都是将伺服系统用于精密定位，其次是转矩控制，速度控制则多使用变频器，因为变频器性能已经足够满足要求了，而价格比伺服低。

伺服电机速度控制和转矩控制都是用模拟量来控制，位置控制是通过发脉冲来控制。具体采用什么控制方式要根据客户的要求以及满足何种运动功能来选择。

接下来，介绍伺服电机的三种控制方式：

如果对电机的速度、位置都没有要求，只要输出一个恒转矩，当然是用转矩模式。

如果对位置和速度有一定的精度要求，而对实时转矩要求不高，用速度或位置模式比较好。

如果上位控制器有比较好的闭环控制功能，用速度控制效果会好一点。如果本身要求不是很高，或者基本没有实时性的要求，用位置控制方式对上位控制器没有很高的要求。

就伺服驱动器的响应速度来看：转矩模式运算量最小，驱动器对控制信号的响应最快；位置模式运算量最大，驱动器对控制信号的响应最慢。

对运动中的动态性能有比较高的要求时，需要实时对电机进行调整。

如果控制器本身的运算速度很慢（比如 PLC，或低端运动控制器。），就用位置方式控制。

如果控制器运算速度比较快，可以用速度方式，把位置环从驱动器移到控制器上，减少驱动器的工作量，提高效率。

三、伺服控制器的主要参数设定（品牌：松下伺服控制器）：

松下伺服控制器参数共有 200 多个，但一般的控制场合只需要设置少数几个参数即可。

松下伺服用于定位控制时，下面几个参数需要熟悉并掌握设置方法：

（1）Pr0.00：伺服旋转方向切换。

伺服驱动需要调换旋转方向时，只需要将 Pr0.00 中的值由“1”改为“0”，或由“0”改为“1”（出厂值是“1”）。

（2）Pr0.01：伺服控制模式的设置。

位置控制时（Pr0.01=0）



(3) Pr0.07: 伺服控制脉冲输入方式。

PLC 发送高速脉冲给伺服驱动器，有几种方式，可以是正转一路脉冲，反转一路脉冲；也可以是只用一路脉冲，而增加一个方向控制信号（高低电平即可）。Pr0.07 分别设为“1”、“3”、“0”或“2”。可以看出除了设置为“3”只需一路脉冲就可实现定位控制，其他三者都需要两路脉冲，对于一个轴控制（即一套伺服系统），三菱 PLC 都没有问题，如果是两个轴控制，则必须将 Pr0.07 设置为“3”，默认值为“1”，因此此参数一般都需要设置。当然此参数与 Pr0.06 配合设置，可选择输入的脉冲极性。

(4) Pr0.08: 电机每旋转一圈所需要的指令脉冲。

此参数涉及到 PLC 编程时定位距离的精确控制，也就是 PLC 发多少个脉冲，伺服电机转一圈，电机带动丝杆旋转，丝杆的螺距假设是 5mm，则 PLC 每发 Pr0.08 里设置的数值的脉冲（默认为 10000），丝杆带动运动平台将移动 5mm。

(5) Pr5.04: 伺服定位。

一般两端装有极限位的行程开关，如果装了，需要设置 Pr5.04 由“1”设置为“0”，否则行程开关将不起作用。如果不需要极限位开关，则无需考虑此参数。

四、伺服控制器常见问题及解决办法（品牌：松下伺服控制器）

(1) 松下伺服控制器，试机时一上电，电机就振动并有很大的噪声，然后驱动器出现 16.0 报警。

这种现象一般是由于控制器的增益设置过高，产生了自激震荡。需适当降低增益参数。

(2) 松下交流伺服控制器上电就出现 22.0 报警。

22.0 报警是编码器故障报警，产生的原因一般有：A. 编码器接线有问题：断线、短路、接错等；B. 电机上的编码器有问题：错位、损坏等。

(3) 松下伺服电机在很低的速度运行时，时快时慢，像爬行一样。

伺服电机出现低速爬行现象一般是由于系统增益太低引起的，需适当调高增益参数。

(4) 松下交流伺服系统在位置控制方式下，控制系统输出的是脉冲和方向信号，但不管是正转指令还是反转指令，电机只朝一个方向转。



松下交流伺服系统在位置控制方式下，可以接收三种控制信号：脉冲/方向、正/反脉冲、A/B 正交脉冲。驱动器的出厂设置为 A/B 正交脉冲，需改为脉冲/方向信号。

(5) 松下交流伺服系统信号干扰。

由于交流伺服驱动器采用了逆变器原理，所以它在控制、检测系统中是一个较为突出的干扰源，为了减弱或消除伺服驱动器对其它电子设备的干扰，一般可以采用以下办法：A、驱动器和电机的接地端应可靠地接地；B、驱动器的电源输入端加隔离变压器和滤波器；C、所有控制信号和检测信号线使用屏蔽线。

拓展内容：

(1) 伺服电机为什么不会丢步？

伺服电机驱动器接收电机编码器的反馈信号，并和指令脉冲进行比较，从而构成了一个位置的半闭环控制。所以伺服电机不会出现丢步现象，每一个指令脉冲都可以得到可靠响应。

(2) 如何考虑松下伺服的供电电源问题？

目前，几乎所有日本产交流伺服电机都是三相 200V 供电，国内电源标准不同，所以必须按以下方法解决：

A、对于 750W 以下的交流伺服，一般情况下可直接将单相交流 220V 接入驱动器的 L1, L3 端子；

B、对于其它型号电机，建议使用三相变压器将三相交流 380V 变为三相交流 200V，接入驱动器的 L1, L2, L3。

(3) 对伺服电机进行机械安装时，应特别注意什么？

不要撞击到伺服电机后端的旋转编码器，由于每台伺服电机后端部都安装有旋转编码器，它是一个十分易碎的精密光学器件，过大的冲击力肯定会使其损坏。

五、伺服控制器的接线

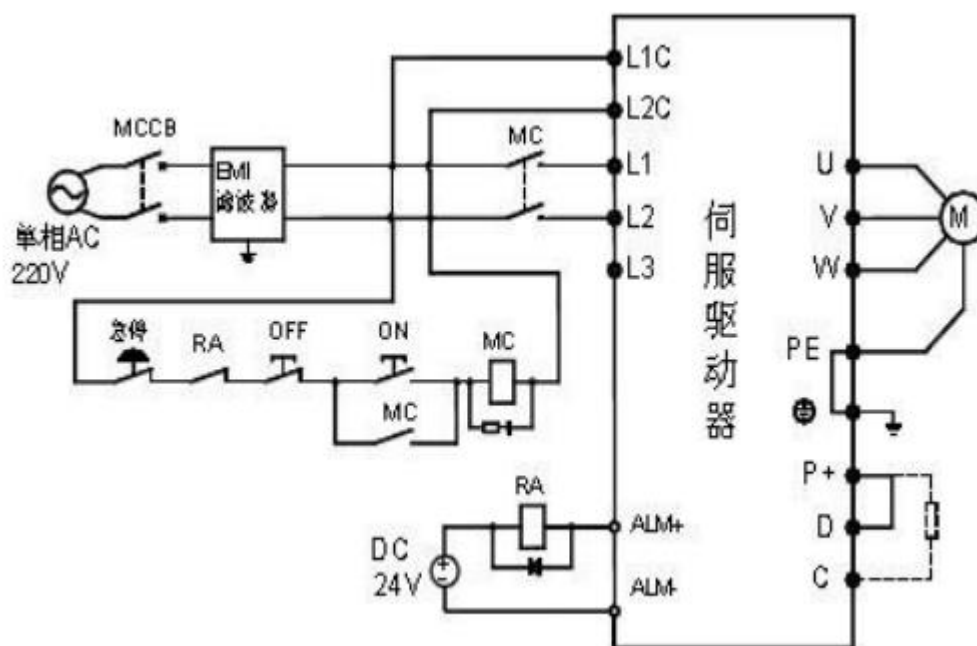


图
4-14
伺服控制
器接线简
图

第五节 PLC 可编程序控制器



图 4-15 PLC 可编程序控制器实物图

PLC 可编程序控制器控制系统的定义：

一种数字运算操作的电子系统，专为在工业环境下应用而设计，采用了可编程序的存储器，用来在其内部存储执行逻辑运算、顺序控制、定时、计数、算术运算等操作的指令，并通过数字式和模拟式的输入和输出，控制电磁阀、接触器、继电器、调速器、变频器、驱动器、控制器、电机等的生产过程。可编程序控制器及其有关外围设备，都按易于与工业系统连成一个整体、易于扩充其功能的原则设计。

一、PLC 可编程序控制器的功能、用途

1、PLC 可编程序控制器的功能特点

(1) 使用方便，编程简单。

采用简明的梯形图、逻辑图或语句表等编程语言，系统开发周期短，现场调试容易。另外，可在线修改程序，需要改变控制方案时不需要拆动硬件。

(2) 功能强，性能价格比高。

一台小型 PLC 可编程序控制器，内有成百上千个可供用户使用的编程元件，有很强的功能，可以实现非常复杂的控制功能。它与相同功能的继电器控制系统相比，具有很高的性能价格比。PLC 可以通过通信联网，实现分散控制，集中管理。

(3) 硬件配套齐全，用户使用方便，适应性强。



PLC 产品已经标准化、系列化、模块化，配备有品种齐全的各种硬件装置供用户选用，用户能灵活方便地进行系统配置，组成不同功能、不同规模的系统。PLC 的安装接线也很方便，一般用接线端子连接外部接线。PLC 有较强的带负载能力，可以直接驱动一般的电磁阀和小型交流接触器。

硬件配置确定后，可以通过修改用户程序，方便快速地适应工艺条件的变化。

(4) 可靠性高，抗干扰能力强。

传统的继电器控制系统使用了大量的中间继电器、时间继电器，由于触点接触不良，容易出现故障。PLC 用软件代替大量的中间继电器和时间继电器，仅使用与输入和输出有关的少量硬件元件，接线可减少到继电器控制系统的 $1/10-1/100$ ，因触点接触不良造成的故障大为减少。

PLC 采取了一系列硬件和软件抗干扰措施，具有很强的抗干扰能力，平均无故障时间达到数万小时以上，可以直接用于有强烈干扰的工业生产现场，PLC 已被广大用户公认为最可靠的工业控制器件之一。

(5) 系统的设计、安装、调试工作量少。

PLC 用软件功能取代了继电器控制系统中大量的中间继电器、时间继电器、计数器等器件，使控制柜的设计、安装、接线工作量大大减少。

PLC 的梯形图程序一般采用顺序控制设计法来设计。这种编程方法很有规律，很容易掌握。对于复杂的控制系统，设计梯形图的时间比设计相同功能的继电器控制系统电路图的时间要少得多。

PLC 的用户程序可以在实验室模拟调试，输入信号用小开关来模拟，通过 PLC 上的发光二极管可观察输出信号的状态。完成了系统的安装和接线后，在现场的统调过程中发现的问题一般通过修改程序就可以解决，系统的调试时间比继电器控制系统少得多。

(6) 维修工作量小，维修方便。

PLC 的故障率很低，且有完善的自诊断和显示功能。PLC 或外部的输入装置和执行机构发生故障时，可以根据 PLC 上的发光二极管或编程器提供的信息迅速地查明故障的原因。

2、PLC 可编程序控制器的基本控制原理

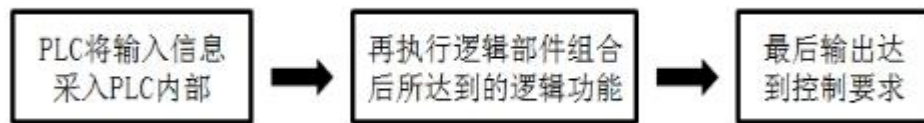


图 4-16 PLC 基本控制原理图

当 PLC 控制器投入运行后，其工作过程一般分为三个阶段，即输入采样、用户程序执行和输出刷新三个阶段。完成上述三个阶段称作一个扫描周期。在整个运行期间，PLC 控制器的 CPU 以一定的扫描速度重复执行上述三个阶段。

（1）输入采样阶段

在输入采样阶段，PLC 控制器以扫描方式依次地读入所有输入状态和数据，并将它们存入 I/O 映象区中相应的单元内。输入采样结束后，转入用户程序执行和输出刷新阶段。在这两个阶段中，即使输入状态和数据发生变化，I/O 映象区中的相应单元的状态和数据也不会改变。因此，如果输入是脉冲信号，则该脉冲信号的宽度必须大于一个扫描周期，才能保证在任何情况下，该输入均能被读入。

（2）用户程序执行阶段

在用户程序执行阶段，PLC 控制器总是按由上而下的顺序依次地扫描用户程序（梯形图）。在扫描每一条梯形图时，又总是先扫描梯形图左边的由各触点构成的控制线路，并按先左后右、先上后下的顺序对由触点构成的控制线路进行逻辑运算，然后根据逻辑运算的结果，刷新该逻辑线圈在系统 RAM 存储区中对应位的状态；或者刷新该输出线圈在 I/O 映象区中对应位的状态；或者确定是否要执行该梯形图所规定的特殊功能指令。

即，在用户程序执行过程中，只有输入点在 I/O 映象区内的状态和数据不会发生变化，而其它输出点和软设备在 I/O 映象区或系统 RAM 存储区内的状态和数据都有可能发生变化，而且排在上面的梯形图，其程序执行结果会对排在下面的凡是用到这些线圈或数据的梯形图起作用；相反，排在下面的梯形图，其被刷新的逻辑线圈的状态或数据只能到下一个扫描周期才能对排在其上面的程序起作用。

（3）输出刷新阶段

当扫描用户程序结束后，PLC 控制器就进入输出刷新阶段。在此期间，CPU 按照 I/O 映象区内对应的状态和数据刷新所有的输出电路，再经输出电路驱动相应的外部器件。这时，才是 PLC 控制器的真正输出。

同样的若干条梯形图，其排列次序不同，执行的结果也不同。另外，采用扫描用户程序的运行结果与继电器控制装置的硬逻辑并行运行的结果有所区别。当然，如果扫描周期所占用的时间对整个运行来说可以忽略，那么二者之间就没有什么区别了。

一般来说，PLC 控制器的扫描周期包括自诊断、通讯等，即一个扫描周期等于自诊断、通讯、输入采样、用户程序执行、输出刷新等所有时间的总和。

3、PLC 可编程序控制器的主要逻辑部件

继电器逻辑

在 PLC 中用逻辑与、逻辑或、逻辑非等逻辑运算来处理各种继电器的连接。

PLC 为用户提供以下几种继电器：

输入继电器：是输入到 PLC 中的现场信号。

输出继电器：具有一对物理接点，可以串接在负载回路中。

内部继电器：它与外界没有联系，仅作运算的中间结果使用，有时也称作辅助继电器或中间继电器。

PLC 控制系统由输入部分、逻辑部分和输出部分组成，如图 5-18 所示。

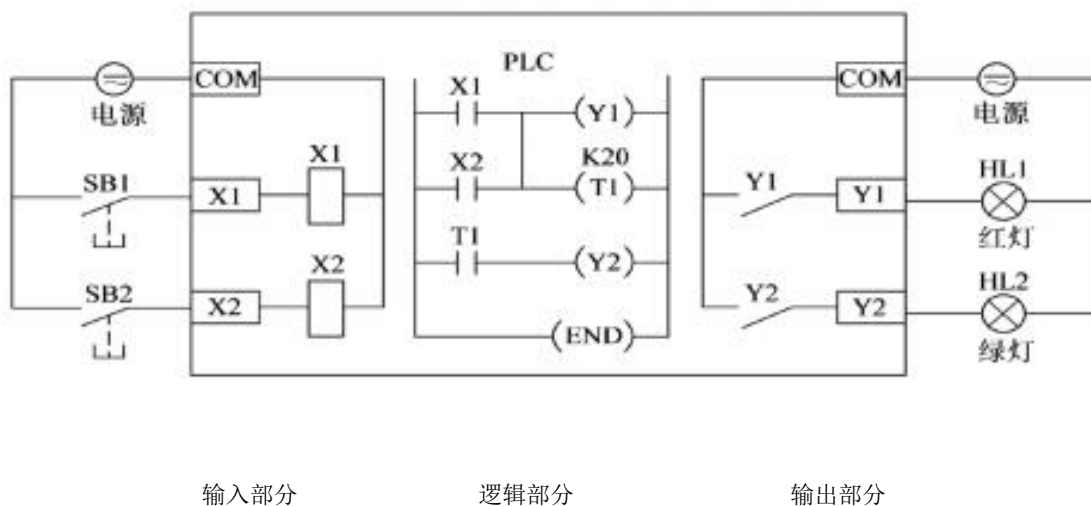


图 4-17 PLC 控制系统原理

二、PLC 可编程序控制器的应用



目前, PLC 可编程序控制器在国内外已广泛应用于钢铁、石油、化工、电力、建材、机械制造、汽车、轻纺、交通运输、环保及文化娱乐等各个行业, 使用情况大致可归纳为如下几类。

(1) 开关量的逻辑控制

这是 PLC 可编程序控制器最基本、最广泛的应用领域, 它取代传统的继电器控制电路, 实现逻辑控制、顺序控制, 既可用于单台设备的控制, 也可用于多机群控及自动化流水线。如: 电芯上料机、PCM 上料机、电芯极耳焊接机、自动功能测试机、成品电池尺寸测量机、下料机、成品电池打包机等。

(2) 模拟量控制

在工业生产过程当中, 有许多连续变化的量, 如: 温度、压力、流量、液位和速度等都是模拟量。为了使 PLC 可编程序控制器能够处理模拟量, 实现模拟量(Analog)和数字量(Digital)之间的 A/D 转换及 D/A 转换, PLC 厂家都生产配套的 A/D 和 D/A 转换模块, 使可编程序控制器用于模拟量控制。

(3) 运动控制

PLC 可编程序控制器可以用于圆周运动或直线运动的控制。从控制机构配置来说, 早期直接用于开关量 I/O 模块连接位置传感器和执行机构, 现在一般使用专用的运动控制模块。如可驱动步进电机或伺服电机的单轴或多轴位置控制模块。世界上各主要 PLC 控制器生产厂家的产品几乎都有运动控制功能, 广泛用于各种机械、机床、机器人、电梯等控制场合。

(4) 过程控制

过程控制是指对温度、压力、流量等模拟量的闭环控制。PLC 控制器能编制各种各样的控制算法程序, 完成闭环控制。PID 调节是一般闭环控制系统中用得较多的调节方法, 大中型 PLC 都有 PID 模块, 目前许多小型 PLC 控制器也具有此功能模块。PID 处理一般是运行专用的 PID 子程序。过程控制在冶金、化工、热处理、锅炉控制等场合有非常广泛的应用。

(5) 数据处理

现代 PLC 可编程序控制器具有数学运算(含矩阵运算、函数运算、逻辑运算)、数据传送、数据转换、排序、查表、位操作等功能, 可以完成数据的采集、分析及处理。这



些数据可以与存储在存储器中的参考值比较,完成一定的控制操作,也可以利用通信功能传送到别的智能装置,或将它们打印制表。数据处理一般用于大型控制系统,如无人控制的柔性制造系统;也可用于过程控制系统,如:造纸、冶金、食品工业中的一些大型控制系统。

(6) 通信及联网

PLC 可编程序控制器通信含 PLC 可编程序控制器间的通信及 PLC 可编程序控制器与其它智能设备间的通信。随着计算机控制的发展,工厂自动化网络发展得很快,各 PLC 控制器厂商都十分重视 PLC 控制器的通信功能,纷纷推出各自的网络系统。

PLC 可编程序控制器的输出类型

PLC 控制器数字量输出类型分为:继电器输出、晶体管输出和晶闸管输出三种类型。

(1) 继电器输出

不同公共点之间可带不同的交、直流负载,且电压也可不同,带负载电流可达每点 2A;但继电器输出方式不适用于高频动作的负载,这是由继电器的寿命决定的。其寿命随带负载电流的增加而减少,一般在几十万次至几百万次之间,有的公司产品可达 1000 万次以上,响应时间为 10ms。

(2) 晶体管输出

适应于高频动作,响应时间短,一般为 0.2ms 左右,但它只能带 DC 5-30V 的负载,最大输出负载电流为 0.5A/点,但每 4 点不得大于 0.8A。

(3) 晶闸管输出

晶闸管(可控硅)带负载能力为 0.2A/点,只能带交流负载,可适应高频动作,响应时间为 1ms。

PLC 的编程语言

梯形图编程 (Ladder)

语句表编程 (Statement List)

功能图编程 (Function Block)

可编程序控制器的硬件及其分类

PLC 的硬件结构主要由中央处理器(CPU)、存储器(RAM、ROM)、输入输出单元(I/O)接口、电源及外围编程设备等几大部分构成。其结构框图如图 5-18 所示。

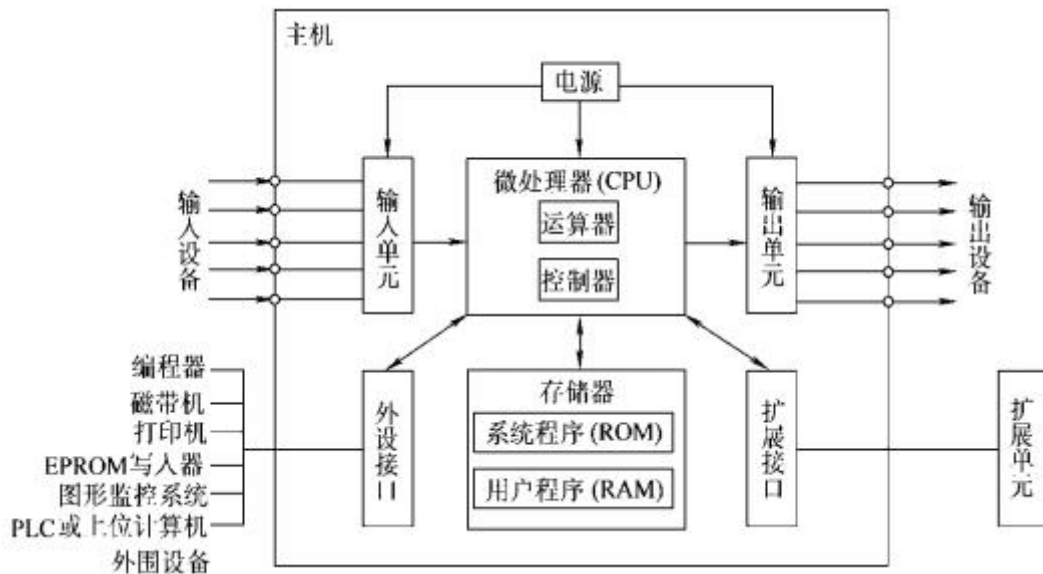


图 4-18 PLC 硬件组成图

中央处理器 (CPU)

中央处理器是可编程序控制器的核心。

在系统程序的控制下，①诊断电源、PLC 内部电路工作状态；②接收、诊断并存储从编程器输入的用户程序和数据；③用扫描方式接收现场输入装置的状态或数据，并存入输入映像寄存器或数据寄存器。

在 PLC 进入运行状态后，①从存储器中逐条读取用户程序，②按指令规定的任务，产生相应的控制信号，去启闭有关控制电路，分时分渠道地去执行数据的存取、传送、组合、比较和变换等动作，③完成用户程序中规定的逻辑或算术运算等任务。

存储器

存储器：用于存放系统程序、用户程序及运算数据的单元。

只读存储器 (ROM)：用来存放系统工作程序、模块化应用功能子程序、命令解释、功能子程序的调用管理程序等功能。

只读存储器又分为掩膜只读存储器和电可擦除只读存储器随机读写存储器 (RAM)：用来存放用户程序及系统运行中产生的临时数据。特点是写入与擦除都很容易，但在掉电情况下存储的数据就会丢失。

输入输出接口

输入输出接口：是 PLC 和工业控制现场各类信号连接的部分。

两个主要的要求：

一是接口有良好的抗干扰能力。

二是接口能满足工业现场各类信号的匹配要求。

(1) 开关量输入接口

作用：是把现场的开关量信号变成 PLC 内部处理的标准信号。接口接受的外信号电源有直流输入、交流输入和交流/直流输入。

如图 4-19 所示：

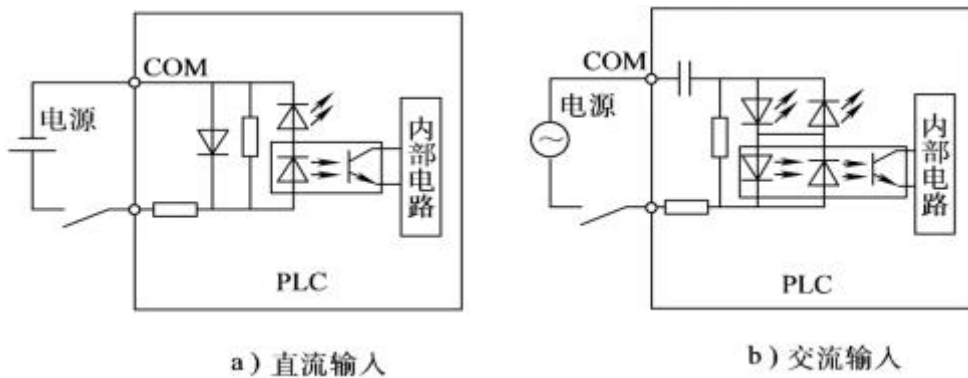


图 4-19 PLC 输入接口图

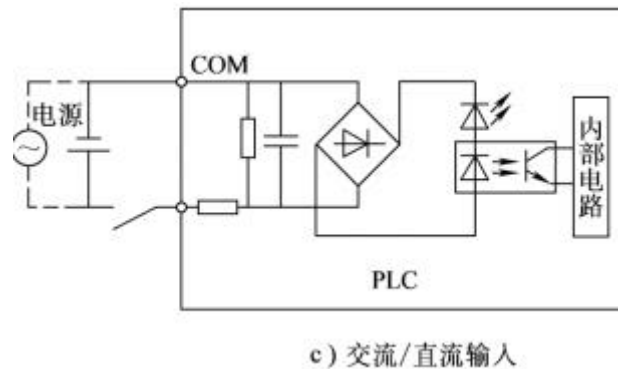


图 4-20 PLC 输入接口图

输入接口中都有滤波电路及耦合隔离电路，滤波有抗干扰的作用，耦合有抗干扰及产生标准信号的作用。

(2) 模拟量输入接口

作用：把现场连续变化的模拟量标准信号转换成适合 PLC 内部处理的由若干位二进制数字表示的信号。模拟量输入接口接受标准模拟信号，符合国际标准的通用电压电流信号。

如：4~20mA 的直流电流信号，0~10V 的直流电压信号等

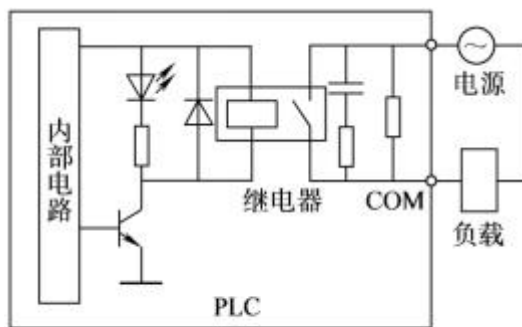
(3) 开关量输出接口

作用：是把 PLC 内部的标准信号转换成现场执行机构所需的开关量信号。

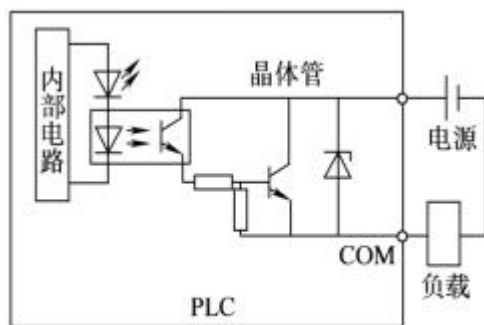
分类：（1）继电器型；（2）晶体管型；（3）晶闸管型

内部参考电路图如图 4-21 所示。

- ① 各类输出接口中也都具有隔离耦合电路。
- ② 特别注意：输出接口本身都不带电源，而且在考虑外驱动电源时，还需考虑输出器件的类型。
- ③ 继电器型的输出接口可用于交流及直流两种电源，但接通断开的频率低。
- ④ 晶体管型的输出接口有较高的接通断开频率，但只适用于直流驱动的场所。
- ⑤ 晶闸管型的输出接口仅适用于交流驱动场合。



a) 继电器型



b) 晶体管型

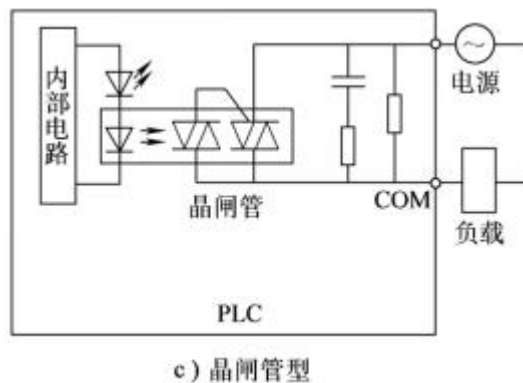


图 4-21 PLC 输出接口图

(4) 模拟量输出接口

作用：将 PLC 运算处理后的若干位数字量信号转换为相应的模拟量信号输出。模拟量输出接口一般由光电隔离、D/A 转换和信号驱动等环节组成。

电源

- ① PLC 工作单元供电的开关电源。
- ② 为掉电保护电路供电的后备电源。

可编程序控制器的类型

可编程序控制器按结构分为整体型和模块型两类，按应用环境分为现场安装和控制室安装两类。从应用角度出发，通常可按控制功能或输入输出点数选型。

整体型可编程序控制器的 I/O 点数固定，因此用户选择的余地较小，用于小型控制系统；模块型可编程序控制器提供多种 I/O 卡件或插卡，因此用户可较合理地选择和配置控制系统的 I/O 点数，功能扩展方便灵活，一般用于大中型控制系统。

三、PLC 可编程序控制器的接线

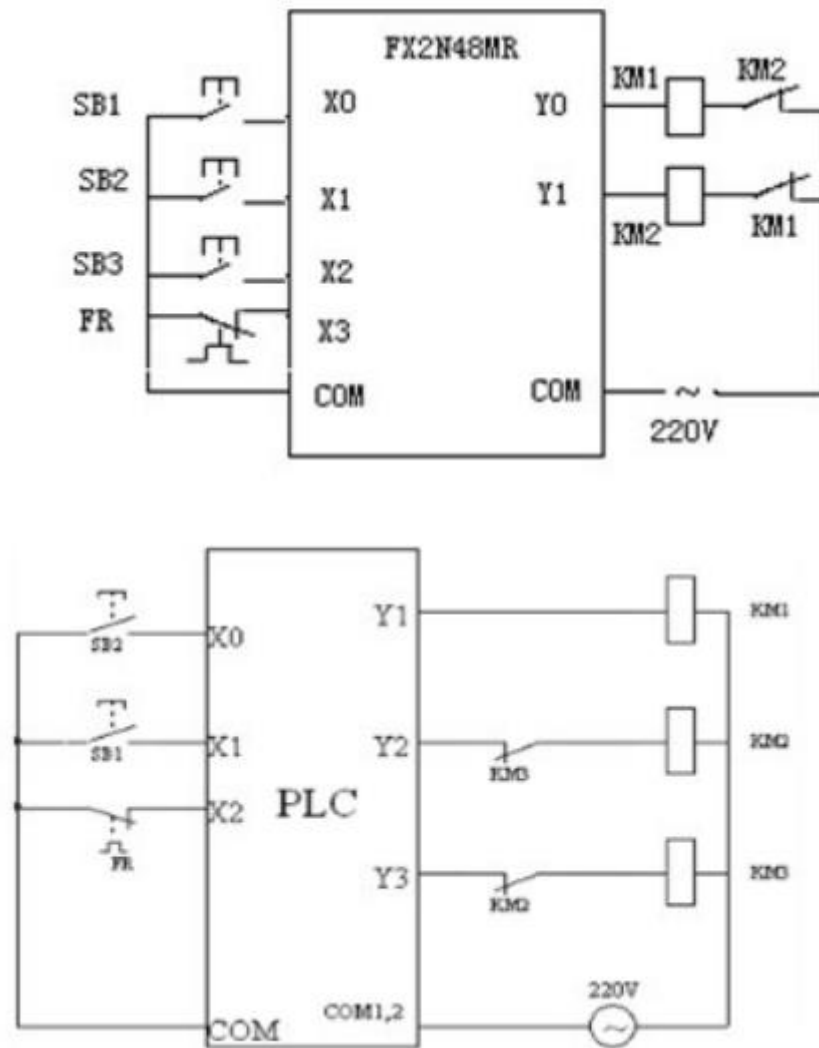


图 4-22 PLC 可编程序控制器接线图

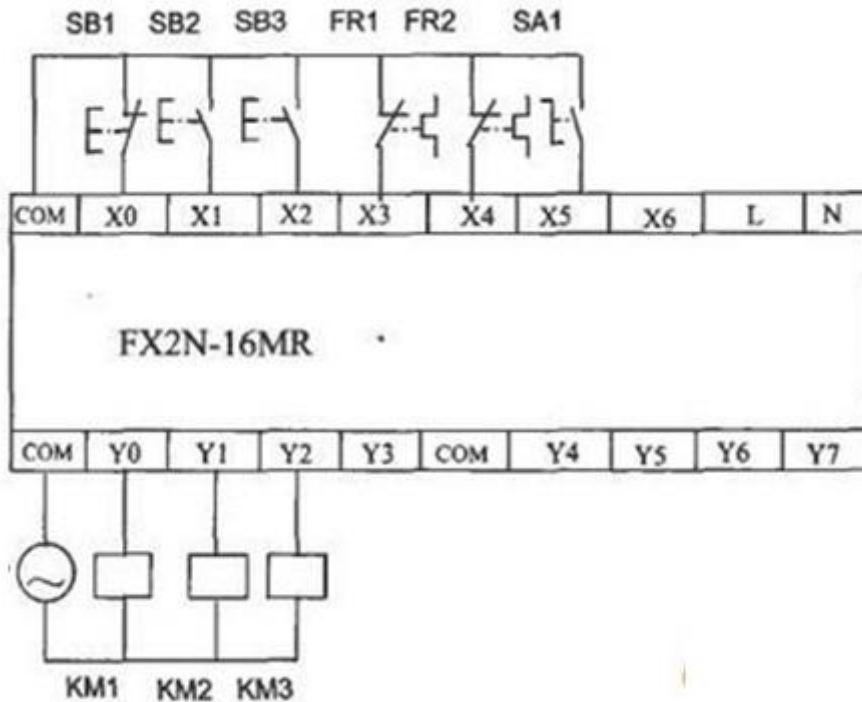


图 4-23 PLC 可编程序控制器接线图

【思考与练习题】

一、简述题。

- (1) 单相交流电动机调速器的作用是什么？
- (2) 变频器的作用是什么？
- (3) 步进驱动器的作用是什么？
- (4) 伺服控制器的作用是什么？
- (5) 如何通过改变调速器的接线来改变单相交流电动机的旋转方向？
- (6) 变频器在生产维护中需要调试的参数主要有哪些？
- (7) 步进驱动器的拨码开关作用是什么？
- (8) 伺服控制器在生产维护中需要调试的参数主要有哪些？



第五章 自动化控制系统常见故障及分析、 处理方法

【教学目标】

- (1) 熟悉自动化控制设备的故障分类。
- (2) 了解自动化生产设备运行过程中常见的机械故障、电气故障。
- (3) 掌握自动化控制设备常见故障的分析及处理方法。

第一节 自动化控制系统故障概述

设备故障，一般是指设备失去或降低其规定功能的事件或现象，表现为设备的某些机械零部件或电气元器件失去原有的精度或性能，使设备不能正常运行、技术性能降低，致使设备中断生产或效率降低而影响生产。

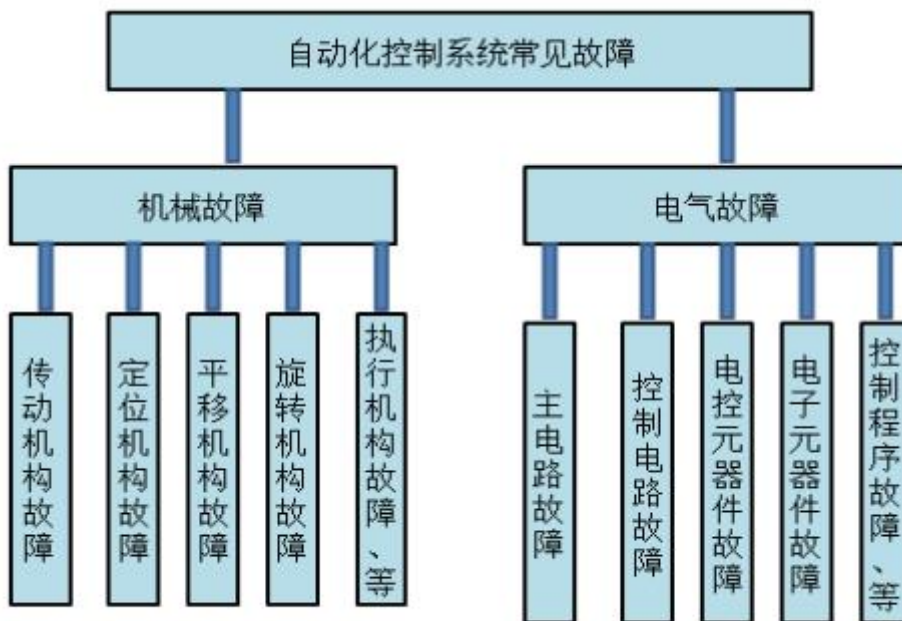


图 5-1 自动化设备常见故障图

设备故障的分类

由于自动线设备多种多样，因而故障的形式也有所不同，必须对其进行分类研究，以确定采用何种诊断方法。

设备故障分类的形式主要有如下几种：

(1) 按故障存在的程度分类：

暂时性故障：这类故障带有间断性，是在一定条件下，系统所产生的功能上的故障，通过调整系统参数或运行参数，不需要更换零部件即可恢复系统的正常功能。

永久性故障：这类故障是由某些零部件损坏而引起的，必须经过更换或修复零部件后才能消除故障。这类故障还可分为完全丧失其所应有的功能性故障；导致某些局部功能丧失的局部性故障。



(2) 按故障发生、发展的进程分类:

突发性故障:出现故障前无明显征兆,难以靠早期试验或测试来预测。这类故障发生时间很短暂,一般带有破坏性,如:转子的断裂,人员误操作引起设备机械手相互撞击、机器人相互碰撞等属于这一类故障。

渐发性故障:设备在使用过程中某些零部件因疲劳、腐蚀、磨损等使性能逐渐下降,最终超出所允许值而发生的故障。这类故障占有相当大的比重,具有一定的规律性,能通过早期状态监测来预防,如:电池 PACK 自动线载具输送皮带传动轴的磨损、轴承的磨损、夹紧块的磨损、电池功能测试探针的磨损、电芯极耳裁切刀的磨损等。

(3) 按故障严重程度分类:

破坏性故障:它既是突发性、又是永久性的,故障发生后往往危及设备和人身安全。

非破坏性故障:一般它是渐发性的、又是局部性的,故障发生后暂时不会危及设备和人身的安全。

(4) 按故障发生的原因分类:

外因故障:因操作人员操作不当或条件恶化而造成的故障,如:压力调节系统的误动作,横移伺服机械手超速运行等。

内因故障:设备在运行过程中,因设计或生产方面存在的潜在隐患而造成的故障。如设备上的薄弱环节,残余的局部应力和变形,材料的缺陷等都是潜在的因素。

(5) 按故障相关性分类:

相关故障:也可称间接故障。这种故障是由设备其他部件引起的,如滑动轴承因缺润滑油而磨损的故障是因润滑不充分而引起的,这一点在故障诊断中应予注意。

非相关故障:也可称直接故障。这是因零部件的本身直接因素引起的,对设备进行故障诊断首先应诊断这类故障。

一、机械故障

1、设备机械故障的表现

所谓机械故障,就是指机械系统(零件、组件、部件或整台设备乃至一系列的设备组合)已偏离其设备状态而丧失部分或全部功能的现象。

如某些零件或部件损坏,致使工作能力丧失;发动机功率降低;传动系统失去平衡和噪声增大;工作机构的工作能力下降;燃料和润滑油的消耗增加等,当其超出了规定的指标时,均属于机械故障。

机械的故障表现在它的结构上主要是它的零件损坏和零件之间相互关系的破坏。如：零件的断裂、变形、配合件的间隙增大或过盈丧失，固定和紧固装置的松动和失效等。



图 5-2 传动轴磨损图

2、设备机械故障的分类

(1) 按故障发生的原因分类

劣化故障:当机械设备投入使用后,随着时间的推移,在各种因素的影响下,零件将发生磨损、腐蚀、蠕变以及金属材料组织改变等不可逆的变化过程,这些变化过程将使机械设计的功能随时间而逐渐降低,由此而起的故障称劣化故障。



图 5-3 传动轴表面锈蚀图

人为故障:由于管理制度不够健全,设备操作人员在违反使用规程和维护保养规程等情况下使用机械设备,如:超载使用、超速使用以及违反操作程序使用等,由此而造成的故障称人为故障。



图 5-4 电磁阀故障图

(2) 按故障持续时间分类

临时性故障:在很短时间内发生的丧失某些局部功能的故障。这种故障发生后不需要修复或换零部件, 只要对故障部位进行调整即可恢复其丧失的功能。

持久性故障:造成设备功能的丧失, 需要更换或修复故障零部件才能恢复设备工作能力的故障。

(3) 按故障形成速度分类

突发性故障:由设备本身各种不利因素和偶然的外界因素共同作用的结果, 当这种作用效应超出设备所能承受的限度时, 便会迅速发生故障。这类故障的特征是其发作的时间与设备的状态变化和已使用过的时间有关, 在无明显故障预兆的情况下突然发生的。这种故障不能靠早期试验和测试来预测其发生的时间, 因而又称不可监测故障。

渐发性故障:各种机构老化过程而造成的故障, 这类故障的特征是其发生的时间与设备已工作过的时间有关。设备使用过的时间越长, 发生故障的概率就越高。



图 5-5 开盖机构故障图

(4) 按故障性质分类

功能故障:设备不能继续完成其预定功能的故障,如:由于发生了故障,输送电动机不能运转,伺服机械手无法移动,减速器不能传递运动等。功能故障常常是因为设备的个别零件损坏或卡滞造成的。

参数故障:设备的规定参数超出允许的极限值造成的故障。如:步进电机的运行速度达不到规定要求;传动效率降低;起重量达不到标准值等。参数故障并不妨碍设备的继续运转,但按照设备技术文件的标准来衡量,设备是处于超负荷工作能力或工作能力显著降低的故障状态。

(5) 按故障危害性分类

灾难性故障:机械设备的保护安全保护装置、传动系统的制动装置及其他关键零部件所发生的导致机械设备毁坏或人员伤亡等后果严重的故障。

一般性故障:未造成机械设备毁坏或人员伤亡等非危险性故障。但这类故障仍可能造成机械设备性能降低、影响使用、中断生产或导致较大经济损失等后果。

(6) 按故障是否发生分类

实际故障:设备已经发生的故障。

潜在故障:设备自身存在的可能发生的故障。在生产过程中,严格执行机械设备的使用和维修规程,采取有效的故障诊断措施,将能防止潜在故障发展形成实际故障。

二、电气故障

1、常见电气故障

由于工业现场环境比较复杂，电气故障处理也是生产设备维护人员重要的工作内容。在整个自动化控制系统中，最容易发生故障的是以下几个方面。

(1) 继电器、接触器、断路器

自动线生产设备日常维护中，电气备件消耗量最大的为各类继电器、电磁接触器、断路器等。例如：接触器触点打火或氧化，逐渐发热变形，直至不能使用。避免此类故障，应尽量选用高性能电器元件，并改善元器件使用环境，就可以减少更换的频率，降低对系统运行的影响。



图 5-6 继电器实物图



图 5-7 漏电断路器故障图

(2) 电磁阀、气缸

由电磁阀、气缸参与的控制系统，机械、电气各环节稍有不到位就会产生误差或故障。在长期的运行状态下，如果缺乏运行维护，易造成阀体部件的卡、堵、漏等现象。因此在设备运行时要加强巡检，发现问题及时处理。需要对此类控制系统建立严格的点检制度，定期检查电磁阀动作是否卡滞，气缸是否变形、执行动作是否灵活可用，很好地保证整个控制系统的有效性。



图 5-8 气缸故障图

(3) 按钮开关、极限位开关、安全保护开关和一些手动操作元件

其损坏原因可能是因为长期磨损，也可能是长期不用而锈蚀老化。如：电池PACK自动线，载具回流到位感应接近开关，被载具上粘附的残胶遮挡，导致接近开关无感应、无信号传输。对于这类设备故障的处理主要体现在定期维护，使设备时刻处于完好状态。对于极限位开关，尤其是快速移动伺服机械手的限位开关除了定期检查外，还要在设计的过程中加入多重的保护措施。



图 5-9 按钮开关实物图

(4) PLC 控制系统

PLC 控制系统故障产生的原因除了设备本身的制作工艺原因外还和安装工艺有关，如有人认为电线和螺钉连接是压的越紧越好，但在二次维修时很容易导致拆卸困难，大力拆卸时容易造成连接件及其附近部件的损害。长期的打火、锈蚀等也是造成故障的原因。根据工程经验，这类故障一般是很难发现和维修的。所以在设备的安装和维修中一定要按照安装要求的安装工艺进行，不留设备隐患。

(5) 传感器和仪表

传感器和仪表故障在控制系统中一般反映在信号的不正常，传感器和仪表安装时信号线的屏蔽层应单端可靠接地，并尽量与动力电缆分开敷设，特别是高干扰的变频器输出电缆，而且要在 PIC 内部进行软件滤波。传感器和仪表故障的发现及处理也和日常点巡检有关，发现问题应及时处理。



图 5-10 压力传感器故障图

(6) 电源、地线和信号线的噪声(干扰)

问题的解决或改善主要在于工程设计时的经验和日常维护中的观察分析。

要减小故障率，很重要的一点是要重视设备工艺和安全操作规程，在日常的工作中要遵守工艺和安全操作规程，严格执行一些相关的规定。

过程控制系统本身是一个完整的系统，所以在分析故障或处理故障时也要注意系统性，单独的对某一部分的优化有时并不能提高系统的整体性能。如过分追求元器件的精度而不考虑实际的需要、以及和相关设备精度的匹配，将徒然增加系统成本。在日常维护中也有过把系统越改越复杂的现象，如采用复杂的控制方式和设备来实现本可以用简单装置来实现的控制，违背了经济、简单、实用的原则，并可能会增加故障率，这也是要注意的地方。



图 5-11 电控柜接线实物图

2、PLC 相关问题及解决方法

(1) PLC 自身故障判断

一般来说, PLC 是极其可靠的设备, 出故障率很低。PLC 的 CPU 等硬件损坏或软件运行出错的概率也很小; PLC 输入点如不是强电入侵所致, 几乎也不会损坏; PLC 输出继电器的常开点, 若不是外围负载短路或设计不合理、负载电流超出额定范围, 触点的寿命也很长。

因此, 我们查找电气故障时, 重点要放在 PLC 的外围电气元件上, 不要总是怀疑 PLC 硬件或程序有问题, 这对快速维修好故障设备、快速恢复生产是十分重要的, 因此所谈的 PLC 控制回路的电气故障检修, 重点不在 PLC 本身, 而是 PLC 所控制回路中的外围电气元件。



图 5-12 PLC 可编写程序控制器故障图

(2) 输入输出 (I/O) 模块

输出模块分为晶体管、双向可控硅、接点型。晶体管型的开关速度最快 (一般 0.2ms), 但负载能力最小, 约 0.2~0.3A、24VDC, 适用于快速开关、信号联系的设备, 一般与变频、直流装置等信号连接, 应注意晶体管漏电流对负载的影响。

可控硅型优点是无触点、具有交流负载特性, 负载能力不大。

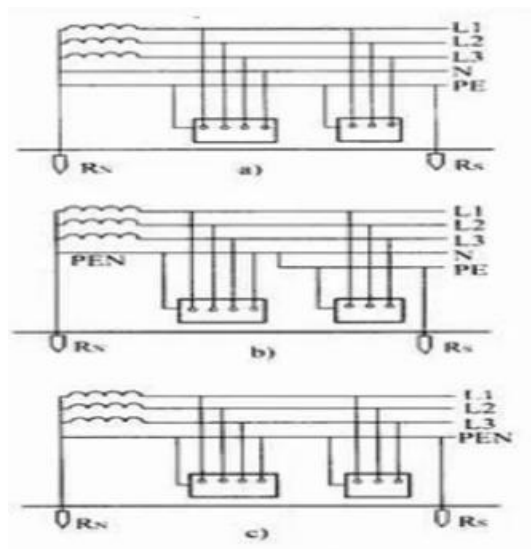
继电器输出具有交直流负载特点, 负载能力大。常规控制中一般宜首先选用继电器触点型输出, 缺点是开关速度慢, 一般在 10ms 左右, 不适于高频开关应用。



图 5-13 PLC 输入信号接线转接端子台图

(3) 接地问题

PLC 系统接地要求比较严格，宜有独立的专用接地系统，还要注意与 PLC 有关的其他设备也要可靠接地。多个电路接地点连接在一起时，会产生意想不到的电流，导致逻辑错误或损坏电路。产生不同的接地电势的原因，通常是由于接地点在物理区域上被分隔的太远，当相距很远的设备被通信电缆或传感器连接在一起的时候，电缆线和地之间的电流就会流经整个电路，即使在很短的距离内，大型设备的负载电流也可以在其与地电势之间产生变化，或者通过电磁作用直接产生不可预知的电流。在不正确的接地点的电源之间，电路中有可能产生毁灭性的电流，以至于破坏设备。



(a) TN-S 系统 (b) TN-C-S 系统 (c) TN-C 系统

图 5-14 接地图



(4) 消除线间电容、避免误动作

电缆的各导线间都存在电容，合格的电缆能把此容值限制在一定范围之内。即使是合格的电缆，当电缆长度超过一定长度时，各线间的电容容值也会超过所要求的值，当把此电缆用于 PLC 输入时，线间电容就有可能引起 PLC 的误动作，会出现许多无法理解的现象。这些现象主要表现为：明明接线正确，但 PLC 却没有输入；PLC 应该有的输入没有，而不应该有的却有，即 PLC 输入互相干扰。

为解决这一问题，应做到：使用电缆芯绞合在一起的电缆；尽量缩短使用电缆的长度；把互相干扰的输入分开使用电缆；使用屏蔽电缆。

(5) 抗干扰处理

工业现场的环境比较恶劣，存在着许多高低频干扰。这些干扰一般是通过与现场设备相连的电缆引入 PLC 的。除了接地措施外，在电缆的设计选择和敷设施工中，宜注意采取一些抗干扰措施：

- ① 模拟量信号属于小信号，极易受到外界干扰的影响，应选用双层屏蔽电缆；
- ② 高速脉冲信号（如：脉冲传感器、计数码盘等）应选用屏蔽电缆，既防止外来的干扰，也防止高速脉冲信号对低电平信号的干扰；
- ③ PLC 之间的通信电缆干扰频率较高，一般应选用厂家提供的电缆，在要求不高的情况下，可以选用带屏蔽的双绞线电缆；
- ④ 模拟信号线、直流信号线不能与交流信号线在同一线槽内走线；
- ⑤ 控制柜内引入引出的屏蔽电缆必须接地，应不经过接线端子直接与设备相连；
- ⑥ 交流信号、直流信号和模拟信号不能共用一根电缆，动力电缆应与信号电缆分开敷设。
- ⑦ 在现场维护时，解决干扰的方法有：对受干扰的线路采用屏蔽线缆，重新敷设；在程序中加入抗干扰滤波代码。

(6) 标记输入输出，方便检修

PLC 控制着一个复杂的控制系统，所能看到的是上下两排错开的输入输出继电器接线端子、对应的指示灯及 PLC 编号，就像一块有数十只脚的集成电路。如果不看电气原理图来检修故障设备，可能会束手无策，查找设备故障的速度也会



特别慢。鉴于这种情况，我们宜根据电气原理图绘制一张表格，贴在设备的电控柜里，标明每个 PLC 输入输出端子编号与之相对应的电器符号，中文名称，即类似集成电路各管脚的功能说明。

有了输入输出表格，对于了解设备操作过程或熟悉设备梯形图的电工就可以展开检修了。但对于那些对操作过程不熟悉，不会看梯形图的电工来说，就需要再绘制一张表格：PLC 输入输出逻辑功能表。该表实际说明了大部分操作过程中输入回路（触发元件、关联元件）和输出回路（执行元件）的逻辑对应关系。实践证明如果能熟练利用输入输出对应表及输入输出逻辑功能表，检修设备电气故障时，不带图纸，也能轻松自如。

（7）通过程序逻辑推断故障

现在工业上经常使用的 PLC 种类繁多，对于低端的 PLC 而言，梯形图指令大同小异，对于中高端机，如 S7-300，许多程序是用语言表编写的。实用的梯形图必须有中文符号注解，否则阅读很困难，看梯形图前如能大概了解设备工艺或操作过程，看起来会比较容易。

若进行电气故障分析，一般是应用反查法或称反推法，即根据输入输出对应表，从故障点找到对应 PLC 的输出点，开始反查满足其动作的逻辑关系。经验表明，查到一处问题，故障基本可以排除，因为设备同时发生两起及两起以上的故障点是不多的。

（8）充分合理利用软、硬件资源

- ① 不参与控制循环或在循环前已经投入的指令可不接入 PLC。
- ② 多重指令控制一个任务时，宜先在 PLC 外部将它们并联后再接入一个输入点。
- ③ 尽量利用 PLC 内部功能软元件，充分调用中间状态，使程序具有完整连贯性，易于开发。同时也减少硬件投入，降低了成本。
- ④ 条件允许的情况下宜独立每一路输出，便于控制和检查，也保护其它输出回路；当一个输出点出现故障时只会导致相应输出回路失控。
- ⑤ 输出若为正/反向控制的负载，不仅要从 PLC 内部程序上连锁，并且要在 PLC 外部采取措施，防止负载在两方向动作。



⑥ PLC 紧急停止宜使用外部开关切断，以确保安全。

(9) 其他注意事项

- ① 不要将交流电源线接到输入端子上，以免烧坏 PLC；
- ② 接地端子独立接地，不与其它设备接地端串联，接地线截面积不小于 2mm^2 ；
- ③ 辅助电源功率较小，只能带动小功率的设备（光电传感器等）。
- ④ 一些 PLC 有一定数量的占有点数（即空地址接线端子），不要将线接上。
- ⑤ 当 PLC 输出电路中没有保护时，宜在外部电路中串联使用熔断器等保护装置，防止负载短路造成损坏。

3、变频器常见故障及处理方法

变频器是应用变频技术与微电子技术，通过改变电机工作电源频率方式来控制交流电动机的电力控制设备。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。变频器靠内部 IGBT 的开断来调整输出电压和频率，根据电机的实际需要来提供其所需要的电源电压，进而达到节能、调速的目的，另外，变频器还有很多的保护功能，如：过流、过压、过载保护等等。随着工业自动化程度的不断提高，变频器也得到了非常广泛的应用。

(1) 轻故障和重故障

轻故障时，系统发出报警信号，故障指示灯闪烁。重故障发生时，系统发出故障指示，故障指示灯常亮。同时发出指令去分断高压、合闸禁止，并对故障信息、高压分断指令作记忆处理。重故障状态不消除，故障指示、高压分断指令依然有效。

轻故障：变频器超温报警、柜温超温报警，系统对轻故障不作记忆处理，仅有故障指示，故障消失后报警自动消除。变频器运行中出现轻故障报警，系统不会停机。停机时出现轻故障报警，变频器可以继续启动运行。

重故障：系统发生下列故障时，按照重故障处理，并在监视器左上角显示重故障类型：外部故障、变频器过热、电控柜温度过热、单元故障、变频器过流、高压失电、接口板故障、控制器不通讯、接口板不通讯、电机过载、参数错误、主



控板故障。单元故障包括：熔断器故障、变频器过热、驱动故障、变频器过压。除外部故障以外的重故障发生后，直接系统复位即可使系统恢复到正常状态，但在再次上电前一定要找出故障原因。单元故障发生后，只有再次上高压电源，方能检测到单元状态。

注意：切忌在未查明故障原因前贸然二次上电，否则可能严重损坏变频器。

(2) 变频器超温报警

当变频器温控仪测量温度大于其设置的报警温度（默认设置为 100℃）时，温控仪超温报警触点闭合。

检查变压器安装柜顶风机或柜底风机是否工作正常；测温电阻是否正常（有无断线、线路插头接触不良；如果接触不良，温度值将偏高。）；过滤网是否堵塞（拿一张 A4 纸置于过滤网上，看是否能吸附，不能吸附则需要清洁过滤网）；变频器是否长期工作于过载状态；环境温度是否过高（环境温度应低于 45℃，否则需要加强通风。）；变频器安装柜风机控制和保护电路是否正常。

(3) 电控柜温度超温报警

单元柜测温点的温度大于 55℃时，系统会发出柜温超温轻故障报警。

检查单元柜的柜顶风机是否工作正常，安装于二次室内的风机开关是否跳闸；过滤网是否堵塞；变频器是否长期工作于过载状态；环境温度是否过高，（墙上安装通风机或柜顶安装风道、或安装制冷设备）；变频器安装柜风机控制和保护电路是否正常。

(4) 控制器不通讯

确认监视器控制板到主控板的通讯线是否连接无误，确认监视器控制板上的 +15V 与 +5V 正确无误；更换主控板，更换监视器。

(5) 主控板故障

监视器与控制器已建立通讯，监视器检测主控板有故障，则报主控板故障；更换监视器；更换主控板。

(6) 接口板不通



监视器与接口板未建立通讯，接口板将每 5 秒钟复位一次监视器，在 3 分 30 秒仍未建立通讯，将判断为重故障。通讯线是否正常，检查接线端子是否正确；I/O 板工作是否正常，尤其是工作电压；I/O 主控板外芯片是否插好。

(7) 参数错误

在修改参数的时候，如果设置的参数有误，则报参数错误故障，需重新修改参数，按复位按钮。

(8) 外部故障

本地高压分断按钮闭合或接口板上高压分断接点闭合时，系统将报外部故障。高压分断按钮是否按下；高压分断端子是否短路；接口板坏。

(9) 高压失电、上级高压电源消失

一般由正常分闸操作引起。若出现异常高压断电情况（无故障记录、无分闸操作），请检查上级开关柜分闸回路。

(10) 变频器过流

变频器输出电流超过变频器额定电流的 1.5 倍时，变频器将过流保护。输出电压检测板是否正常，有无明显短路、放电痕迹；主回路连接螺钉是否紧固；霍尔元件电源是否正常、霍尔元件输出电流信号是否正确；检查参数设置加速时间是否过短、转矩提升是否过大、启动频率是否过高；电机或负载机械是否堵转，电机绕组和输出电缆绝缘是否损坏；输入电源电压是否过低；在变频器的输出侧有功率因数校正电容或浪涌吸收装置，它与电感有可能引起谐振；单元检测板是否有短路及损坏。

如果排除了以上原因，仍有故障，请更换控制器信号板或主控板。在有些现场，电机低速时电流波动很大，此时变频器可能出现限流，使得变频器出现加速、限流减速等反复，而无法正常加速或造成过流保护，这种情况下需要减小加速时间，加大限流系数，使电机快速通过波动区域，避免过流保护。

(11) 电机过流

变频器输出电流大于电机额定电流 1.2 倍并持续超过 2 分钟。检查电机额定电流参数设置是否正确；电机或负载机械是否堵转；电源电压是否过低。

(12) 变频器运行后电机不转



检查变频器输出是否有接触器或开关类设备；检查变频器输出一次电缆是否连接电机；观察监视器是否有输出电流以及输出电压，若有电压、无电流则说明变频器到电机的主回路开路，若有电压、电流，则检查电缆是否有单相接地情况，电机转子绕组是否开路。

(13) 熔断器故障检测到单元缺相时，报熔断器故障

请检查是否因为主电源停电引起；单元的三相进线是否松动；进线熔断器是否完好，若熔断器开路，请更换单元。

(14) 驱动故障

检查单元电压检测板是否短路，若短路会引起 A1, B1 及 C1 单元报驱动故障；功率单元输出端 L1、L2 是否短路，否则为单元 IGBT 损坏，请更换单元；电机绝缘是否完好；负载是否存在机械故障。

(15) 运行频率与给定频率不一致

系统电压过高时减速，变频器出于自身保护的要求，此时频率不能停留在一个数值点上，以避免直流母线过压保护。变频器输出电流超过设置的限流电流值，变频器自动降频以降低输出电流，避免过流保护跳闸。这种情况一般出现在输入电压过低或负载突增时；

瞬时停电时，为了维持电机在可控状态，变频器将自动减速，从电机处获得能量；霍尔元件、单元检测板或是信号板发生故障。

(16) 监视器黑屏

按下柜门上的系统复位按钮；若仍不能恢复，则检查监视器的电源端子是否脱落、连接线是否松动、5V 及 15V 电源是否正常、监视器线路是否有明显损伤；是否存在干扰现象，否则请更换监视器。

(17) 参数无法修改

在功能参数中参数修改选项设置为禁止时，则除该参数及给定频率或给定参量外，其余所有参数均无法修改。在运行过程中，大部分参数均无法修改。

(18) 停机后变频器自动重启

在远程控制模式下，启、停只能通过远程端子。



若参数设置中的启动方式为电平启动(闭合启动, 断开停机), 在运行过程中紧急停机信号断开或通过其他方式使变频器停机, 变频器会立即自由停机, 但是当紧急停机信号重新闭合后, 因为远程启动电平信号仍在, 变频器会自动启动运行。

(19) 变频器上电即跳闸

变频器上电时, 因变压器的激磁涌流和单元电容充电, 瞬时电流有效值最高可达到变频器额定电流的 6-7 倍, 持续时间几十毫秒; 若变频器上级电流保护整定值过小, 会造成上级开关速断保护跳闸。

调整上级开关柜速断保护整定值。

(20) 启动过程中输出频率在低速震荡

有些电机在低速时, 因为齿槽效应等影响, 电流波动非常大, 此时变频器可能出现限流, 使得变频器出现加速、限流减速等反复, 而无法正常加速。增加限流电流设置; 缩短启动时间; 某个单元输出电压低, 更换此单元。

(21) 自动旁路柜自动旁路时上级开关柜跳闸

查看旁路柜中延时吸合时间继电器的时间是否在 1.5S—3S 之间; 开关柜整定值是否太小(应该在电机额定电流的 5 倍以上); 将开关柜的速断保护时间设定为大于 0.1S。

(22) 外接端子有感应交流电压

可能是远程启动/停机、高压分断、系统复位信号线感应电压, 建议无源信号与 220V 交流电源分开布线, 此种情况最好用屏蔽线两端接地;

可能是远控箱上的信号线与电源线绑在一起引起的感应电压, 建议在远控箱重新布线, 无缘信号最好也用屏蔽线, 而且屏蔽线剥线尽量不要太长; 4-20mA 电流信号有交流感应电压(10V 以下), 可以用一个 275V/0.33uf 接在电流信号与地之间。

三、电气故障分析、处理的方法

人总免不了要生病, 电气设备也和人一样总要发生故障, 现在还没有永远不出故障的电气设备。人生病了还可以凭借本身的抵抗能力自愈, 而各种电气设备有了故障却没有自行修复的能力, 只有靠维修人员来修理。维修人员要没有过硬

的检修技术，往往无法迅速使电气设备正常运行，从而影响生产。生产过程中，维修工作是保证设备正常运行，减少停产损失的重要环节，绝不能忽视。

结合设备故障的特性和诊断电气故障的成功经验，总结归纳为“六诊要诀”，另外引申出电气设备特性的“九法”，“三先后要诀”。六诊，九法，三先后是一套行之有效的电气设备诊断思想方法和工作方法。

事物往往是千变万化的，电气设备出现的故障是五花八门、千奇百怪的，检修人员要善于透过现象看本质。

1、六诊

口问、眼看、耳听、鼻闻、手摸、表测，六种诊断方法。简单地讲，就是通过问、看、听、闻、摸、测，来发现电气设备的异常情况，从而找出故障原因和故障所在的部位。前五诊是凭借人的感官对电气设备故障进行的诊断，称为感官诊断，又称直观检查法。同样，由于个人的技术经验差异，诊断结果不同。可以采用多人会诊法，求得正确结论。表测，即应用电气仪表测量某些电气参数的大小，通过与正常数值对比，来确定故障的原因和部位。

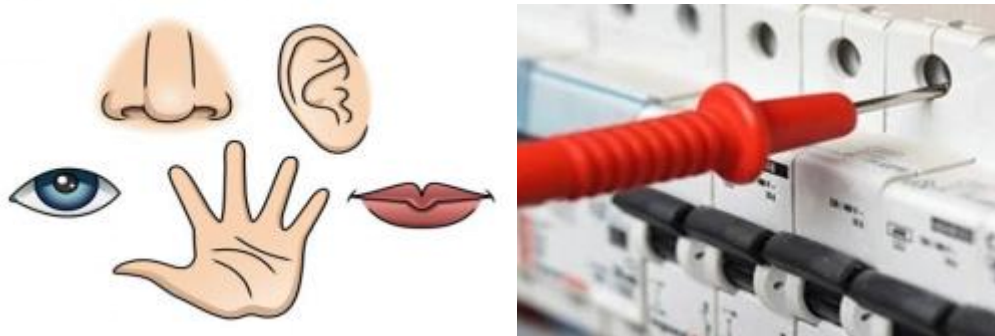


图 5-15 六诊图

(1) 口问

问，即向设备操作人员或用户了解设备使用情况，了解设备的病历和故障发生的全过程。询问设备以往有无发生过同样或类似的故障，曾作过如何处理，有无更改过接线或更换过零件等。了解设备故障发生的全过程，应询问故障发生之前有什么征兆，故障发生时是什么现象，如果故障是发生在有关操作期间或之后，还应询问当时的操作内容以及方法步骤。总的来讲，了解情况，尽可能详细和真实，这些往往是快速找出设备故障原因和部位的关键。



例如：员工反映电池功能测试排不良品皮带不输送不良品载具，这时设备维护人员就要询问，排不良品皮带开始是否运行，还是一直不运行。了解具体情况后，再进行设备故障处理，就会有条理，轻松解决问题。

(2) 眼看

看现场，根据所问的情况，仔细查看设备外部状况和运行情况。如：电控柜内电器元件的颜色有无异常、熔丝有无熔断。电气回路有无烧伤、烧焦、开路、短路。机械部分有无损坏，开关、断路器、按钮、接插线所处位置是否正确，改过的接线是否正确，更换的原件是否相符等，还要观察信号显示和仪表指示等。对于长时间未使用的电气设备，必要时考虑进行通电通气试机观察。



认真查阅与产生故障电气有关的电气原理图和安装接线图，应先看懂原理图，再看懂接线图，以理论指导实践。看懂、熟悉有关故障设备的电气原理图后，分析一下已经出现的故障与控制回路的哪一部分、哪些原件有关，产生了哪些毛病才能有上述现象。接着，再分析决定检查哪些地方。逐步查下去，就能查出设备故障所在了。

(3) 耳听

细听电气设备运行中的声响。电气设备在运行中会有一些的噪声，其噪声一般较均匀，且有一定规律，噪声强度也较低。带病运行的电气设备，其噪声通常

也发生变化，用耳细听往往区别它和正常设备运行的噪声差异。利用听觉判断故障，是一种比较复杂的工作。但只要本着实事求是的科学态度，从实际出发，善于摸索规律，予以科学的分析，就能诊断出电气设备的故障的原因和部位。声音是由于物体震动发出的，如果摸清了声音的规律，通过它就能知道眼看不到的故障原因。



例如影响电动机声音的因素有：

① 温度：电动机的有些声响是随着温度的升高而出现增强的，又有些声响却随着温度的升高而减弱或消失。

② 负荷：负荷对声音有很大的影响，响声随着负荷的增大而增强，这是声音的一般规律。

③ 润滑：不论什么响声，当润滑条件不佳时，一般响的严重。

④ 听诊器具：可用螺丝刀、金属棍、细金属管等。用听诊器具触到测试点，声音变大，以利诊断。

用听诊器具直接接触在发响声部位听诊，叫做实听。用耳朵隔开一段距离听诊，叫做虚听，两种方法要配合使用。在日常生产中要积累丰富的经验，才能在实际运用中发挥作用。

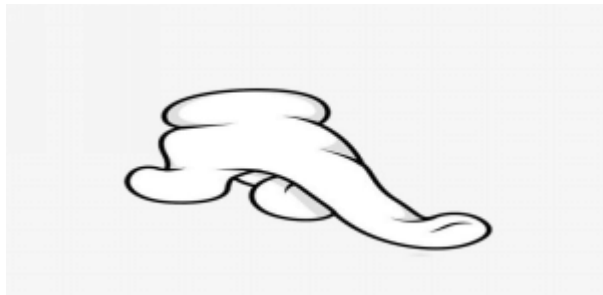
（4）鼻闻

利用人的嗅觉，根据电气设备散发的气味判断故障。如：过热、短路、击穿故障，则有可能闻到烧焦味，火烟味。塑料、橡胶、油漆、润滑油等受热也会散发出气味。



(5) 手摸

手摸，即用手触摸设备的有关部位，根据手感的温度和振动判断故障。如：设备过载，则其整体温度就会上升；如：局部短路或机械摩擦，则可能出现局部过热；如：机械卡阻或平衡性（机械平衡或电磁平衡）不好，其振动幅度就会加大，等等。对于机械振动，手感的灵敏度往往比听觉还高。另外个别零件、接头是否紧固，用手适当扳动也很容易发现问题。当然，实际操作还应注意遵守有关安全规程和掌握设备的特点，掌握摸的方法和技巧，该摸的才摸，不该摸的切不要乱摸，用力也要适当，以免危及人身安全和损坏设备。



(6) 表测

用仪表仪器对电气设备检查。根据仪表测量参数的大小，与正常数据对比后，来确定故障原因和部位。利用仪表仪器检查要有一定目的性，要结合直视检查作出初步判断后进行。仪表仪器的种类很多，常用仪表有万用表、钳型电流表、兆欧表等。诊断故障不同于电气设备的交接和定期试验，更不同于设备的出厂试验，该做什么检查试验项目必须有一定的选择性，以期达到事半功倍之目的。



应用电压法来检修电器线路，可采用以下步骤。

- ① 了解线路。
- ② 了解线路正常工作电压，通过比较判断故障所在。

测量电阻法：断开电源后，用万用表欧姆档测量有关部位电阻值。若测量电阻值与要求电阻值相差很大，则该部位即有可能就是故障点。

测量电流法：用钳形电流表或万用表交流档测量主回路及有关控制回路的工作电流，如所测电流值与设计电流值不符，则该相电路是故障之处。用钳形电流表检查三相异步电动机各相的电流是多少，是否对称，是电工检查电动机运行状况，以及对发生异常现象分析的重要依据。

测量绝缘电阻法：

即断开电源，用兆欧表测量电器元件和线路对地以及相间绝缘电阻值。低压电器绝缘层绝缘电阻值规定不得小于 0.5 兆欧。绝缘诊断的目的是确定绝缘是否有所损坏及损坏程度，研究分析出现和可能出现故障的原因并作出判断。

2、九法

电气设备的故障可分为两类：一类是显性故障，即故障部位有明显的外表特征，容易发现。如：接触器和接触器线圈过热、冒烟、焦糊味、触头烧熔、接头松动、声音异常、振动大、移动不灵活、转动不灵等。另一类是隐性故障，没有外表特征，不容易发现。如：熔丝熔断、绝缘导体内部断裂、热继电器整定值调整不当、触头通断不同步等。因此要解决问题，应在初步感官诊断的基础上，熟悉故障设备的原理，结合自身技术水平和经验，需要周密思考，确定科学的、行之有效的检验故障原因和部位的方法。

(1) 分析法

根据电气设备的工作原理、控制原理、控制线路、结合初步感官诊断故障现象和特征，弄清故障所属系统，分析故障原因，确定故障范围。分析时，先从主



回路入手，再分析各个控制回路，然后分析信号回路及辅助回路，分析时要善于逻辑推理。

举例说明电工理论能够分析、判断发生故障的原因：

新买的一台交流弧焊机带 50 米电源线，由于焊接的地点就在焊机附近，没有把整盘焊机电源线放开，只抽出一个线头接在电焊机二次侧上。焊接试验，电流很小、不能起弧。经检查焊机电源线，接头处正常，电焊机的二测电压指示表空载为 70 伏。查了半天没找出毛病，最后把焊机电源线放开、试机一切正常。其实道理很简单，按照电工原理，整盘的焊机电源线没有放开，就相当于一个空心电感线圈，必然引起很大感抗，使电焊机的输出电压减小，不能起弧。

（2）短路法

短路法把电气的某处短路或某一中间环节用导线跨接，用短路法时注意不要影响电路的工况，如短路交流信号通常利用电容器，而不能随使用到相短接。另外在电气仪表等设备调试中，经常使用导线短接法，短路法是一种简捷的检修方法。

例如：在以行程开关、限位开关、光电开关等控制的线路中，遇到多个开关安装，不容易检查分辨的情况下，可采用此类方法进行实际短接。例如小车控制系统，利用短接法检查就可以快速排除故障。在短路故障法查找故障时必须使用试验按钮，不能使用导线代替，短接导线带电用手拿操作不安全，同时短接线所处的接线端子易被烧出痕迹。另外，切记利用短路法查找故障时，只能短接控制回路中压降极小的导线和触点，决不允许短接控制电路中压降极大的电阻和线圈，否则会发生短路触电事故。

（3）开路法

开路法，也叫断路法。即甩开与故障点连接的后级负载（机械或电气负载），使其空载或临时接上假负载。对于多级连接的电路，可逐步甩开或有选择的甩开后级。甩开负载后检查本级，如电路正常工作，则故障处在后级；如电路还不能正常工作，则故障在开路点之前。此法主要用于检查过载，低压故障。

（4）切割法

把电气上相连的有关部分进行分割，逐步缩小可疑范围。如查找某条线路的具体接地点，或者查找故障设备的具体故障点，可采用切割法。通常在装有分支开关或便于分割分支点作进一步分割，或根据运行经验重点检查薄弱环节；查找电气设备内部故障点，通常是根椐电气设备的结构特点，在便于分割处为切割点。



(5) 替代法

替代法也就是替换法，即对有怀疑的电器元件或零部件用正常完好的电器元件或零部件替换，以确定故障原因或故障部位。电子元件、插件、嵌入式继电器等用替代法简便易行。电子元件如晶闸管、晶体管等用一般检查手段很难判断好坏，用替代法同样适用。采用替代法时，一定要注意用于替代的电器应与原电器规格、型号一致，导线连接正确、牢固，以免发生新的故障。

(6) 菜单法

菜单法依据故障现象和特征，将可能引起这种故障的各种原因顺序列出来，然后一个个的查找和验证，直到找出真正故障的原因和故障部位。

以三相电机发热冒烟为例，例举一下原因和现象。

- ① 轴承部分发热
- ② 定子和转子摩擦
- ③ 负荷过大或电压过低或三相电压相差太大
- ④ 电源断相
- ⑤ 绕组断相
- ⑥ 定子同相线圈局部短路
- ⑦ 定子与相间短路
- ⑧ 转子断线

(7) 对比法

把故障设备的有关参数或运行工况和正常设备进行比较。某些设备的有关参数往往不能从技术资料中查到。设备中有些电器零部件性能参数在现场也很难判断好坏，如有多台电气设备时，可采用相互对比的办法，参照正常的调整或更换。

(8) 扰动法

运行中的电气设备人为地加以扰动，观察电气设备运行工况的变化，捕捉故障发生的现象。电气设备的某些故障并不是永久性的，而是短时期内偶然出现的随机性故障，诊断起来比较困难，为了观察故障发生的瞬间现象，通常采用人为因素对运行中的电气设备加以扰动，例如：突然升压或降压，增加或减少负荷，外加干扰信号等。

(9) 再现故障法

先接通电源，按下启动按钮，让故障现象再次出现，找出故障所在。再现故障时，主要观察有关继电器和接触器是否按控制顺序进行工作，若发现某一个电



器工作不对，则说明该电器所在控制回路有故障，再对此回路作进一步检查，便可发现故障原因和故障点。此法实施时，确定不会发生事故和做好安全措施情况下进行。

3、三先后

(1) 先易后难

先易后难，也可理解为先简单后复杂。根据客观条件，容易实施的手段优先采用，不易实施或较难实施的手段必须必要时采用。即检修故障要先用简单易行、自己最拿手的方法处理，再用复杂、精确的方法排除故障。先排除直观、显而易见、简单常见的故障，后排除难度较高的、没有处理过的疑难故障。电气设备经常容易产生相同类型的故障就是通病，由于通病比较常见，积累的经验比较丰富，因此比较快速的排除，这样就可以集中精力和时间排除比较少见、难度高、古怪的疑难杂症。简化步骤，缩小范围，提高检修速度。

(2) 先动后静

先动后静，即着手检查时首先考虑电气设备的活动部分，其次才是静止部分。电气设备的活动部分比静止部分在使用中故障率要高得多，所以诊断时首先怀疑的对象往往是经常活动的零部件或可动部分，如：开关、熔丝、断路器、插接件、机械运动部分。在具体检测操作时，要先静态测试，后动态测试。静态，是指发生故障后，不通电的情况下，对电气设备进行检测；动态，是通电后对电气设备的检测。

(3) 先电源后负载

先电源后负载，即检查的先后顺序从电路的角度来说，是先检查电源部分，后检查负载部分。因为电源侧故障势必会影响到负载，而负载侧故障未必会影响到电源。例如：电源电压过高、过低、波形畸变、三相不对称都会影响电气设备的正常工作。对于用电设备，通常是先检查电源的电压、电流、电路中的开关、触点、熔丝、接头等，故障排除后才根据需要检查负载。

掌握诊断要诀，一要有的放矢，二要机动灵活。“六诊”要有的放矢，“九法”要机动灵活，“三先后”并非一成不变，只有善于独立思考和不断总结经验积累，在实际中得到锻炼，才能成为诊断电气设备故障的行家里手。

第二节 自动贴胶纸机调试及常见问题的处理

一、常见的自动贴胶纸机

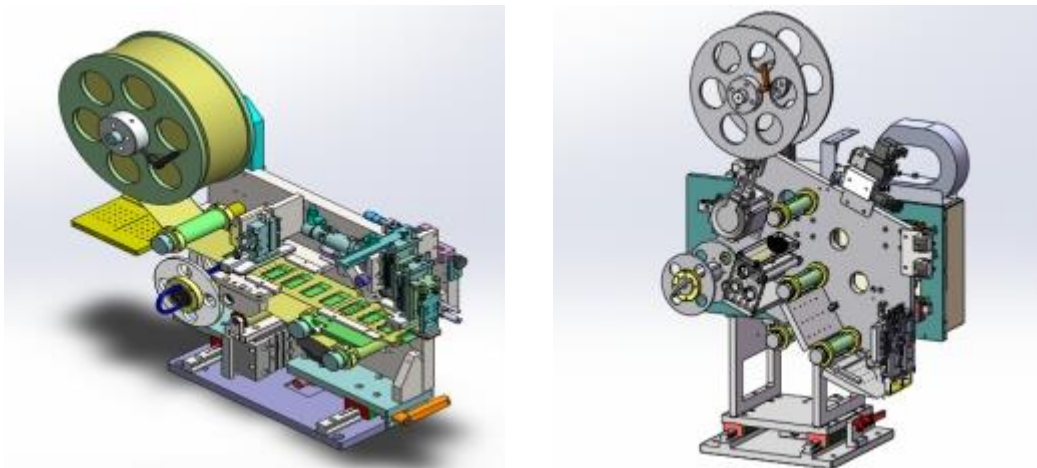


图 5-16 自动贴胶纸机图

二、自动贴胶纸机的主要组成

- (1) 卷料安装、固定机构
- (2) 胶纸输送、剥离机构
- (3) 吸胶纸、贴胶纸机构
- (4) 收底纸、胶纸对接辅助机构

三、自动贴胶纸机常规调试方法

(1) 胶纸前后位置调试

A、观察所贴胶纸相对于 PCD 尺寸要求的前后位置偏差量，来确定需要调试胶纸定位色标传感器所需要的前后移动量。

B、松开自动贴胶纸机左侧的调试千分尺固定蝴蝶螺丝，通过千分尺调试胶纸定位色标传感器的位置（注：顺时针旋转千分尺，胶纸定位色标传感器向电池头部方向移动；逆时针旋转千分尺，胶纸定位色标传感器向远离电池头部方向移动。）。

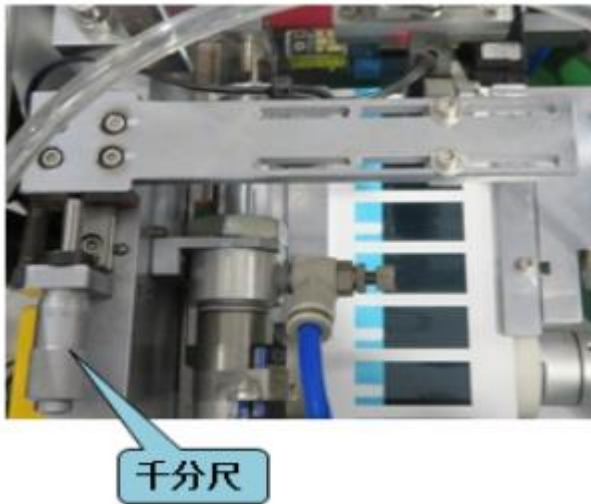


图 5-17 色标传感器前后位置调试图

(2) 胶纸左右位置调试

A、观察所贴胶纸相对于 PCD 尺寸要求的左右位置偏差量，来确定需要调试自动贴胶纸机整体所需要的左右移动量。

B、松开自动贴胶纸机左侧的调试千分尺固定蝴蝶螺丝，通过千分尺调试胶纸定位色标传感器的位置（注：顺时针旋转调节手轮，自动贴胶纸机构整体向电池的右侧方向移动；逆时针旋转调节手轮，自动贴胶纸机构整体向电池的左侧方向移动。）。

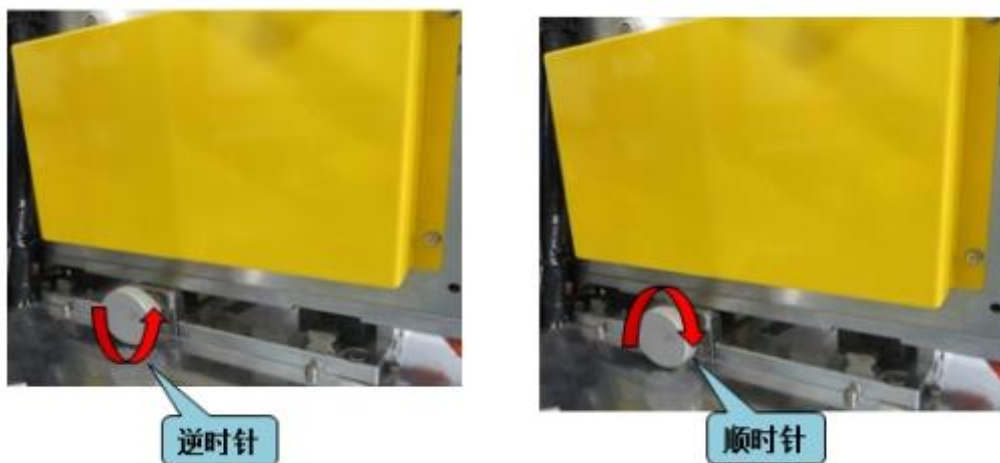


图 5-18 贴胶纸机整体左右位置调试图

四、自动贴胶纸机常见问题及处理方法

(1) 胶纸未贴紧

- A、检查贴胶纸气缸的下压行程，判断胶纸是否完全和电芯对应贴合面贴合紧。
- B、检查下支撑气缸的上升高度，观察下支撑块的支撑面是否贴合电芯下表面，一般都是贴住电芯后再向上调 0.2mm 左右，这是为了保证胶纸和电芯有足够的粘合力。注意不要过高，避免将电芯表面推变形。
- C、检查胶纸的来料，判断胶纸的粘性是否不足。

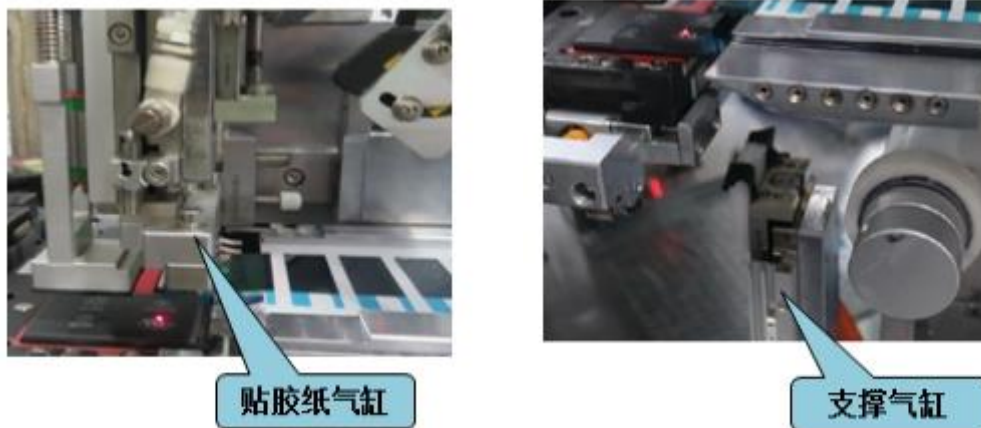


图 5-19 贴胶纸机整体左右位置调试图

(2) 胶纸无法剥离

- A、检查吸胶头是否破损、导致漏真空；如果吸胶头破损，则更换吸胶头。
- B、调试吸胶气缸的下降高度，方法是使用一张和 PI 胶厚度接近的胶纸，把胶纸放在吸胶头下面，手动使吸胶气缸下降，用手稍微带点力能够抽出胶纸，则吸胶气缸下降的高度为最佳高度，尽量不要过压（用手稍微带点力抽不出胶纸），否则会出现剥胶不了异常。
- C、进行预剥离动作，离型纸上剩余 3mm 左右。



图 5-20 检查吸胶头

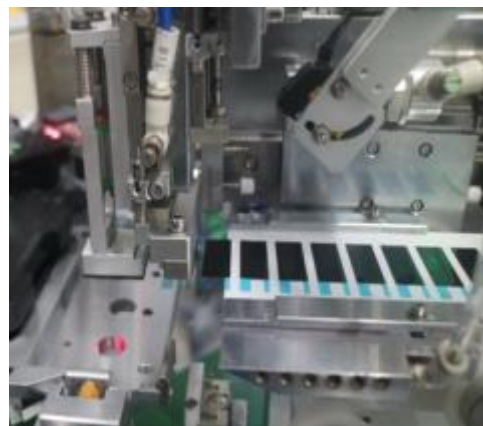


图 5-21 胶纸预剥离图

(3) 胶纸的对接更换

- A、取出即将用完的胶纸底胶圈，将底胶纸与胶圈分离，然后将接头剪齐。
- B、确认新胶纸为所需胶纸后，把胶纸自带接头剪齐。
- C、将即将用完胶纸的接头贴在对接胶正中位置。
- D、把另一接头平放在对接胶上，两接头底胶必须平整对齐、严丝合缝。
- E、将即将用完胶纸的接头贴在对接胶正中位置。
- F、把另一接头平放在对接胶上，两接头底胶必须平整对齐、严丝合缝。
- G、剪去多余底胶，把底胶两边多余对接胶折叠至背面抚平。
- H、双手抹接头，使其无褶皱、无气泡。



图 5-22 胶纸的对接更换图

【思考与练习题】

一、简述题。

- (1) 自动化控制设备的故障分类有哪些？
- (2) 自动化生产设备常见的机械故障有哪些？
- (3) 自动化生产设备常见的电气故障有哪些？
- (4) 什么是“六诊”？
- (5) 什么是“九法”？
- (6) 什么是“三先后”？

附录:

表 5-1 指示、报警符号







图形符号	名称	图形符号	名称
	信号灯		闪光型信号灯
	蜂鸣器		电铃
	电喇叭		报警器

表 5-2 按钮开关、仪表符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	手动开关的一般符号		按钮（不闭锁），常开
	按钮（不闭锁），常闭		按钮（不闭锁），一常开一常闭
	拉拔开关（不闭锁）		旋钮开关和旋转开关（闭锁）
	电压表		电流表
	无功电流表		无功功率表
	功率因数表		频率表
	记录式功率表		组合式记录有功功率和无功功率表
	电度表		检流计
	示波器		转速表

表 5-3 开关符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	负荷开关, 可以带载分断, 有一定的灭弧能力, 没有短路保护, 如, 需配熔断器使用		隔离开关, 没有灭弧能力, 主要是检修时, 用来隔离电压, 需配熔断器或断路器等使用
	断路器, 可以带载分断, 有灭弧能力, 有短路保护功能		开关的一般符号
	三极开关多线表示		三极开关单线表示

表 5-4 线圈、触点符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	操作器件的一般符号		双绕组操作器件的分离表示方法
	双绕组操作器件的组合表示方法		缓慢吸合继电器线圈
	缓慢释放继电器线圈		缓吸缓放继电器线圈
	欠电压继电器		过电流继电器
	快速继电器 (快吸快放) 线圈		接触器主动合触点
	接触器主动断触点		

表 5-5 熔断器符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	熔断器的一般符号		熔断器式负荷开关
	熔断器式隔离开关		熔断器式开关

表 5-6 转换、延时触点符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	中间断开的双向转换触点		先断后合的转换触点
	先合后断的转换触点		延时闭合的动合触点，注意：触点朝圆弧中心的运动是延时的
	延时断开的动断触点		延时断开的动合触点
	延时闭合的动断触点		吸合时延时闭合，释放时延时断开的动合触点

表 5-7 动合、动断触点符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	动合触点		动断触点

表 5-8 开关、传感器、触点符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	位置开关, 限制开关的动合触点		位置开关, 限制开关的动断触点
	位置开关或限制开关的一开一闭连锁触点		液位开关
	热敏开关		惯性开关(突然减速则动作)
	接近传感器		接近开关动合触点
	接触传感器		接触敏感开关动合触点
	热继电器的驱动元件(热元器件)		热继电器动断触点(常闭)

表 5-9 制动器件符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	电磁吸盘		电磁离合器
	磁粉离合器或电磁转差离合器		电磁制动器

表 5-10 导线及连接符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	避雷器		导线、电缆和母线的一般符号
	三根导线的单线表示		屏蔽导线
	同轴电缆		导线的连接
	端子		插头插座
	接通的连接片		断开的连接片
	接地一般符号 (E)		屏蔽接地 (JE)
	保护接地 (PE)		接机壳、机架 (MM)
	等电位 (CC)	PEN	保护性接地和中性线公用
L1、L2、L3、N 或 A、B、C、N	交流系统的电源	U、V、W、N	交流系统设备接线端子
L+、L-、M	正极、负极和中间线		

表 5-11 电动机符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	电动机操作		三相笼型异步电动机
	三相绕线转子异步电动机		三相永磁同步电动机

表 5-12 电动机、变压器、电抗器、互感器符号

图形符号	名称	图形符号	名称
	单相笼型异步电动机		单相永磁同步电动机
	直流力矩电动机		复励直流发电机
	串励直流电动机		并励直流电动机
	他励直流电动机		永磁直流电动机
	步进电动机		三相自耦变压器，星形联结
	可调压的单相自耦变压器		单相自耦变压器
	电抗器、扼流圈		电流互感器



参考文献

- 1、《自动化综合技能从入门到精通》--机械工业出版社（2018年7月版）
- 2、《常用低压电器原理及其控制技术》--机械工业出版社（2017年7月版）
- 3、《电动机及控制线路》--机械工业出版社（2017年6月版）
- 4、《PLC/变频器故障诊断与维修》--化学工业出版社（2013年5月版）
- 5、《三菱电机小型可编程序控制器应用指南》--机械工业出版社（2012年10月版）
- 6、《三菱FX系列PLC编程与应用》--中国电力出版社（2013年7月版）
- 7、“传动网”公众号
- 8、“电气自动化控制”公众号
- 9、“电气电工学习”公众号
- 10、“电工电力论坛”公众号
- 11、“电气圈”公众号
- 12、“PLC技术应用学院”公众号
- 13、“工控参考”公众号
- 14、“工业机器人”公众号



欣旺达电子股份有限公司
Sunwoda Electronic Co., Ltd.

地址:深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐和路2号欣旺达新能源产业园

电话:86-755-2951 6888 传真:86-755-2951 6999

网址:www.sunwoda.com