电机与电气控制技术



类目：机电类
书名：电机与电气控制技术
主编：曾繁玲 姚 亮 刘 超
出版社：湖南大学出版社
开本：大 16 开
书号：978-7-5667-3037-4
使用层次：通用
出版时间：2023 年 6 月
定价：59.8 元
印刷方式：双色
是否有资源：是

责任编辑：贾志萍
封面设计：旗语书装

机电类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

电机与电气控制技术

DIANJI YU DIANQI KONGZHI JISHU

主编◎曾繁玲　姚　亮　刘　超

机电类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材
电机与电气控制技术
主编◎曾繁玲　姚　亮　刘　超

ISBN 978-7-5667-3037-4
定价：59.80元
湖南大学出版社

机电类创新融合精品教材
“互联网+”教育改革新理念教材

电机与电气控制技术

主　编◎曾繁玲　姚　亮　刘　超
副主编◎韩　影　成　琳　王彦新

湖南大学出版社
·长沙·

图书在版编目(CIP)数据

电机与电气控制技术 / 曾繁玲，姚亮，刘超主编
. — 长沙 ：湖南大学出版社，2023.6
ISBN 978-7-5667-3037-4

Ⅰ.①电… Ⅱ.①曾… ②姚… ③刘… Ⅲ.①电机学
②电气控制 Ⅳ.①TM3②TM921.5

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2023)第 099382 号

电机与电气控制技术

DIANJI YU DIANQI KONGZHI JISHU

主　　编：曾繁玲　姚　亮　刘　超
责任编辑：贾志萍
印　　装：廊坊市鸿煊印刷有限公司
开　　本：880 mm×1230 mm　1/16　**印　　张**：16　**字　　数**：420 千字
版　　次：2023 年 6 月第 1 版　**印　　次**：2023 年 6 月第 1 次印刷
书　　号：ISBN 978-7-5667-3037-4
定　　价：59.80 元

出 版 人：李文邦
出版发行：湖南大学出版社
社　　址：湖南·长沙·岳麓山　**邮　　编**：410082
电　　话：0731-88822559(营销部)，88821315(编辑室)，88821006(出版部)
传　　真：0731-88822264(总编室)
网　　址：http://www.hnupress.com
电子邮箱：xiaoshulianwenhua@163.com

版权所有，盗版必究
图书凡有印装差错，请与营销部联系

Preface 前言

本书是依据教学改革的需求，本着“理论够用、突出实践、综合应用、发展创意”的原则而编写的，可作为电气自动化、机电一体化、电子技术等专业基础教材使用，也可作为电气工程技术人员的参考书。本书遵循学生学习知识、掌握技能的认知规律，以项目导向的方式，将电动机与低压电气控制技术的基础知识、技能和典型案例结合起来进行整体编排，在理论知识的讲解中穿插任务实施，形象生动，突出应用，便于老师教学与学生理解，有利于培养学生的实际操作能力。

本书共分为八个项目：项目一为常见低压电器结构与原理；项目二为直流电动机；项目三为变压器的结构与维护；项目四为异步电动机；项目五为控制电动机的分类与特点；项目六为电气控制电路的基本环节；项目七为三相交流异步电动机的常用控制；项目八为典型机床电气控制电路。各项目内容以实际应用为基础，注重理论联系实际，并通过项目实施的方式来验证理论的正确性，强化对学生职业技能的培养与训练。同时，锻炼和培养学生分析、解决生产实践过程中电动机及电气问题的能力，使学生具备构建简单电气控制系统的能力，在实际技能学习的基础上，将理论与实际有机结合，方便对学生进行启发和引导，激发学生学习的积极性。

本书由罗定职业技术学院曾繁玲、阜新高等专科学校姚亮、辽宁地质工程职业学院刘超担任主编，由咸阳职业技术学院韩影、陕西职业技术学院成琳、吉林交通职业技术学院王彦新担任副主编。具体编写分工如下：曾繁玲负责编写项目一、四、六、七；姚亮负责编写项目八；刘超负责编写项目五；韩影负责编写项目二；成琳负责编写项目三；王彦新负责课件资源制作。

由于编者的学识和水平有限，经验不足，书中难免会有些错误和疏漏之处，恳请同行和读者提出宝贵意见，以利改进和完善。在编写过程中，引用了一些资料，在此对参考文献中的各位专家学者和单位深表谢意。

编　　者

Contents 目录

项目一　常见低压电器结构与原理 …… 1

任务一　三相异步电动机点动控制电路的安装、调试与检测 …… 2
任务二　三相异步电动机长动控制电路的安装、调试与检测 …… 19

项目二　直流电动机 …… 32

任务一　直流电动机的认识和拆装 …… 33
任务二　直流电动机的启动、调速、反转和制动 …… 43

项目三　变压器的结构与维护 …… 56

任务一　单相变压器的结构与维护 …… 57
任务二　三相变压器的结构与维护 …… 67

项目四　异步电动机 …… 85

任务一　三相异步电动机的结构和工作原理 …… 86
任务二　三相异步电动机的特性和铭牌数据 …… 94
任务三　单相异步电动机 …… 105

项目五　控制电动机的分类与特点 …… 115

任务一　步进电动机的结构与运行 …… 116
任务二　伺服电动机的结构与运行 …… 129

项目六　电气控制电路的基本环节 …… 147

任务一　三相异步电动机正反转控制电路的安装、调试与检测 …… 148
任务二　三相异步电动机顺序控制电路的安装、调试与检测 …… 156

项目七　三相交流异步电动机的常用控制 …… 169

任务一　三相异步电动机降压启动控制电路的安装、调试与检测 …… 170
任务二　三相异步电动机调速控制电路的安装、调试与检测 …… 181
任务三　三相异步电动机制动控制电路的安装、调试与检测 …… 192

项目八　典型机床电气控制电路 …… 206

任务一　C650 型卧式车床的电气控制电路 …… 207
任务二　X62W 型铣床的电气控制电路 …… 217
任务三　M7130 型卧轴矩台平面磨床的电气控制电路 …… 226
任务四　Z3040 型摇臂钻床的电气控制电路 …… 234
任务五　T68 型卧式镗床的电气控制电路 …… 241

参考文献 …… 250

项目一

常见低压电器结构与原理

学习目标

1. 素质目标

（1）培养严谨科学的思维方法和团结求实的工作作风。

（2）培养安全文明、规范操作、环保节能等意识，养成爱护仪器和工具、团结合作、沟通交流的良好的职业道德和职业情操。

2. 知识目标

（1）了解低压电器的定义和分类。

（2）掌握按钮、刀开关、组合开关、熔断器、交流接触器的用途、结构、符号与工作原理。

（3）了解按钮、刀开关、组合开关、熔断器、交流接触器的选用方法。

（4）掌握三相异步电动机点动、长动控制电路的工作原理。

3. 技能目标

（1）能使用万用表对按钮、刀开关、组合开关、熔断器、交流接触器进行检测。

（2）能绘制三相异步电动机点动、长动控制电路的电气原理图和安装接线图。

（3）能根据三相异步电动机点动、长动控制电路的常见故障现象进行检修。

随着科学技术的快速发展，自动化程度的不断提高，电器的应用范围日益扩大，品种不断增加。尤其是随着电子技术在电器中的广泛应用，近年来出现了很多新型电器。本项目主要介绍机械设备电气控制系统中常用低压电器的结构、工作原理、动作特点以及它们的电气符号和文字符号。

任务一　三相异步电动机点动控制电路的安装、调试与检测

任务要求

绘制三相交流异步电动机点动控制电路的接线图；完成三相异步电动机点动控制电路的安装、调试与检测。

知识链接



低压电器的定义与分类

一、低压电器的定义与分类

我国规定，低压电器是指在交流电压 1000 V、直流电压 1500 V 及以下的电路中起通断、保护、控制或调节作用的电器产品。低压电器的品种、规格繁多，构造及工作原理各异，可以根据不同的标准将其分类。

1. 按用途和控制对象分类

（1）低压配电电器。低压配电电器包括刀开关、转换开关、空气断路器和熔断器等。系统对低压配电电器的主要技术要求是断流能力强。其限流效果体现在当系统发生故障时低压配电电器保护动作准确，工作可靠，有足够的热稳定性和动稳定性。

（2）低压控制电器。低压控制电器包括接触器、启动器和各种控制继电器等。系统对低压控制电器的主要要求是操作频率高，使用寿命长，有相应的转换能力。

2. 按操作方式分类

（1）自动电器。依靠本身参数变化或外来信号自动完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为自动电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

（2）手动电器。通过外力（人力）直接完成接通、分断、启动、反向和停止等动作的电器称为手动电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

3. 按执行机构分类

（1）有触点电器。这类电器利用触点的接触和分离来实现电路的通断。

（2）无触点电器。这类电器没有触点，主要利用晶体管的开关效应，即晶体管的导通或截止来实现电路的通断。

另外，低压电器按工作条件还可划分为一般工业电器、船用电器、化工电器、矿用电器、牵引电器及航空电器等几类。不同类型的低压电器，对其防护形式、耐潮湿、耐腐蚀、抗冲击等性能的要求不同。

二、按钮

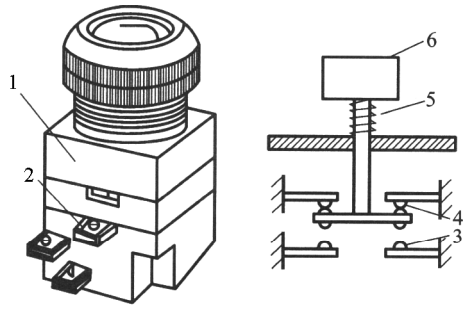
按钮是一种短时接通或断开小电流电路的电器，它不直接控制主电路的通断，而是在控

制电路中发出手动“指令”去控制接触器、继电器等电器，让这些电器去控制主电路，故其又称“主令电器”。

按钮由按钮帽、复位弹簧、桥式触点、外壳等组成。它通常被制成具有动合触点和动断触点的复合式结构，其外形和结构如图 1-1 所示。

常见按钮有 LA 系列和 LAY1 系列。LA 系列按钮的额定电压为交流 500 V、直流 440 V，额定电流为 5 A；LAY1 系列按钮的额定电压为交流 380 V、直流 220 V，额定电流为 5 A。按钮帽有红、绿、黄、白等颜色，一般情况下，红色用作停止按钮，绿色用作启动按钮。

按钮的电气符号如图 1-2 所示。启动按钮的触点形式为常开触点（动合触点），停止按钮的触点形式为常闭触点（动断触点），复合按钮既含有常开触点，又含有常闭触点。



（a）外形　　（b）结构

1—外壳；2—接线柱；3—常开触点；4—常闭触点；5—复位弹簧；6—按钮帽。

图 1-1　按钮的外形和结构



（a）启动按钮　（b）停止按钮　（c）复合按钮

图 1-2　按钮的图形符号和文字符号

按钮的型号含义如图 1-3 所示。

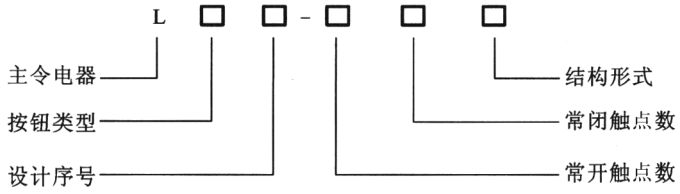


图 1-3　按钮的型号含义

不同结构形式的按钮，分别用不同的字母表示，例如，A——按钮，K——开启式，S——防水式，H——保护式，F——防腐式，J——紧急式，X——旋钮式，Y——钥匙式，D——带指示灯式，DJ——带指示灯紧急式。

选用按钮应根据使用场合、被控电路所需触点的数目及按钮的颜色等综合考虑。使用前，应检查按钮动作是否自如，弹性是否正常，触点接触是否良好、可靠。由于按钮触点之间距离较小，所以应注意保持触点及导电部分的清洁，防止触点间短路或漏电。

三、刀开关及组合开关

1. 刀开关

刀开关是一种手动配电电器，主要用来隔离电源，手动接通或断开交流电路或直流电路，也可用于不频繁的接通与分断额定电流以下的负载，如小型电动机、电炉中的刀开关等。

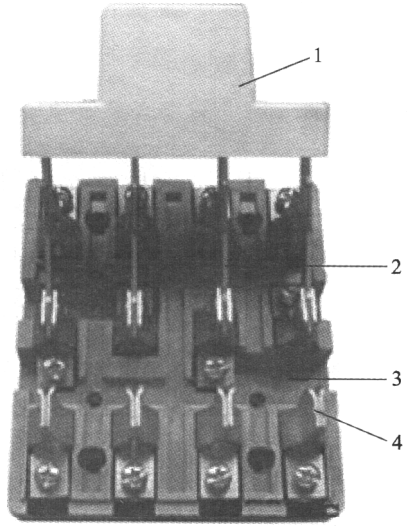
（1）刀开关的结构与型号。常用的刀开关主要有胶盖刀开关、熔断器刀开关和铁壳开关等。

胶盖刀开关又称为开启式负荷开关，广泛用作照明电路和小容量（功率在 5.5 kW 以下）动力电路不频繁启动的控制开关，图 1-4 所示为胶盖刀开关的结构。它主要有与操作手柄相

连的动触刀、静触座、进线及出线接线座，这些导电部分都固定在绝缘底板上，且用胶盖盖着，所以当闸刀合上时，操作人员不会触及带电部分。胶盖还具有下列保护作用：①将各极隔开，防止因极间飞弧导致电源短路；②防止电弧飞出盖外，灼伤操作人员；③防止金属零件掉落在闸刀上形成极间短路。

胶盖刀开关具有结构简单、价格低廉，以及安装、使用、维修方便的优点，主要根据电源种类、电压等级、所需极数、断流容量等进行选用。

图 1-5 所示为熔断器式刀开关的结构，该刀开关具有短路保护功能。



1—手柄；2—动触刀；3—绝缘底板；4—静触座。

图 1-4　胶盖刀开关的结构

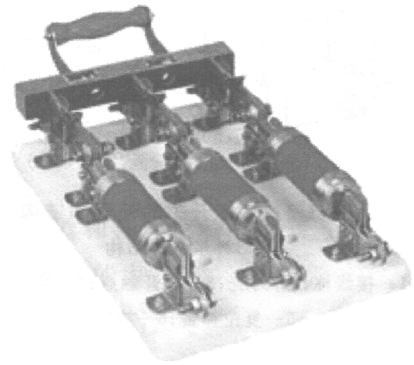
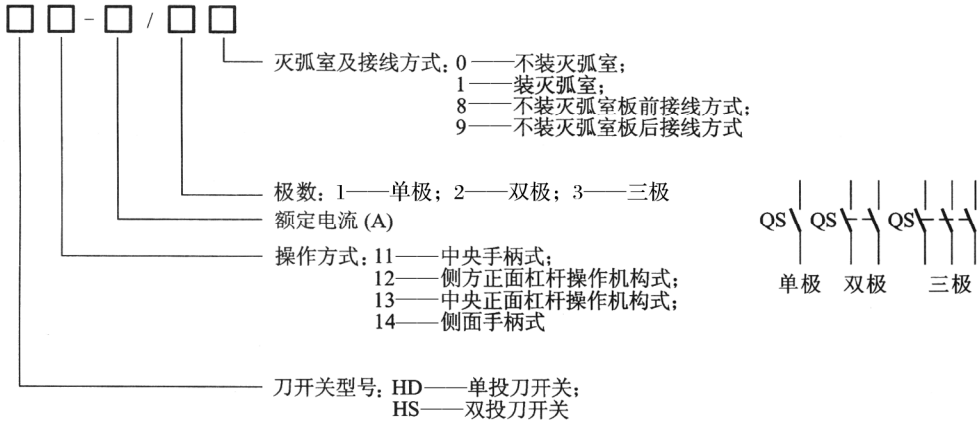


图 1-5　熔断器式刀开关的结构

刀开关的型号含义和电气符号如图 1-6 所示。



（a）型号含义　　（b）电气符号

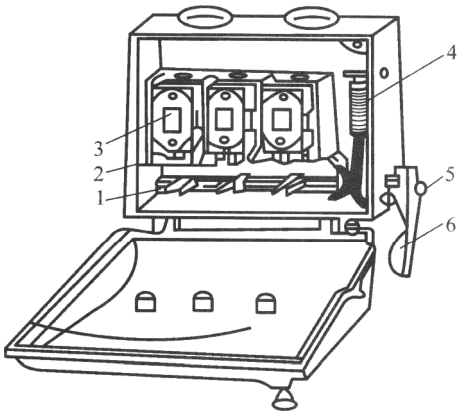
图 1-6　刀开关的型号含义和电气符号

铁壳开关又称为封闭式负荷开关，可不频繁地接通和分断负荷电路，也可用作功率在 15 kW以下电动机不频繁启动的控制开关，其内部结构如图 1-7 所示。它的铸铁壳内装有由刀片和夹座组成的触点系统、熔断器和速断弹簧，额定电流在 30 A 以上的铁壳开关还装有灭弧罩。

常用的铁壳开关为 HH 系列，其型号含义如图 1-8 所示。

铁壳开关具有操作方便、使用安全、通断性能好的优点，可参照胶盖刀开关的选用原则

进行选用。操作时，不得面对它拉闸或合闸，一般用左手掌握手柄。若需要更换熔断体，必须在分闸时进行。



1—触刀；2—夹座；3—熔断器；4—速断弹簧；5—转轴；6—手柄。

图 1-7　铁壳开关的内部结构

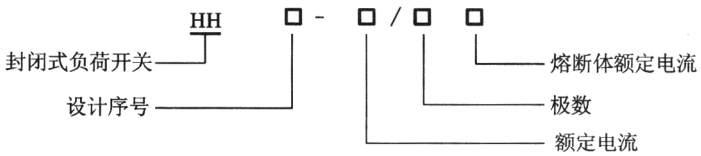


图 1-8　HH 系列铁壳开关的型号含义

（2）刀开关的主要技术参数。刀开关的种类很多，有两极（额定电压 250 V）和三极（额定电压为 380 V）的刀开关，其额定电流由 10 A 到 100 A 不等，其中额定电流为 60 A 及 60 A 以下的刀开关可以用来控制电动机。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刀开关的额定电流。

①用于照明电路时可选用额定电压为 220 V 或 250V、额定电流等于或大于电路最大工作电流的两极刀开关。

②用于电动机的直接启动，可选用额定电压为 380 V 或 500 V、额定电流等于或大于电动机额定电流 3 倍的三极刀开关。

（3）刀开关的安装要求（以胶盖刀开关为例）。

①胶盖刀开关必须垂直安装在控制屏或开关板上，不能倒装，即接通状态时手柄朝上，否则有可能在分断状态时闸刀开关松动落下，造成误接通。

②操作胶盖刀开关时，不能带重负载，因为 HK1 系列瓷底胶盖刀开关不设专门的灭弧装置，它仅利用胶盖的遮护防止电弧灼伤。

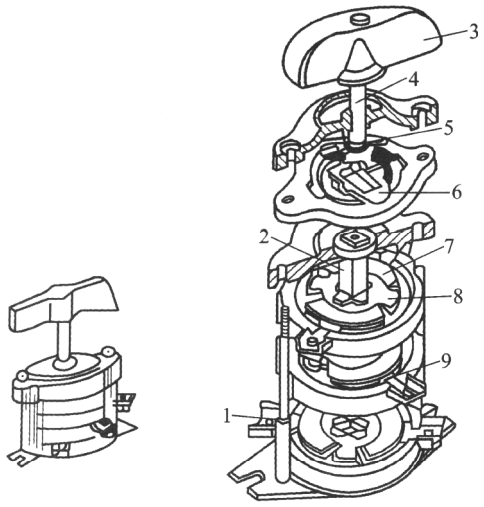
③如果要带一般性负载操作，胶盖刀开关动作应迅速，使电弧较快熄灭，一方面不易灼伤人手，另一方面减少电弧对动触刀和静触座的损坏。

2. 组合开关

组合开关由多节触点组合而成，是一种手动控制电器。它可用作电源引入开关，也可用作功率在 5.5 kW 以下的电动机的直接启动、停止、反转和调速控制开关，主要用于机床控制电路中。

组合开关的外形和结构如图 1-9 所示。它的内部有三组触片，分别用三层绝缘垫板相隔，

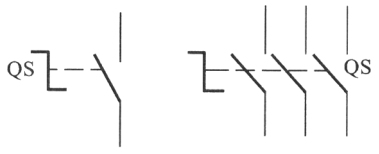
各自附有连接线路的接线柱。三个动触片相互绝缘，与各自的静触片相对应，套在共同的绝缘杆上。绝缘杆的一端装有手柄，转动手柄即可完成三组触片之间的开合或切换。开关内装有速断弹簧，以提高触片的分断速度。组合开关的电气符号如图 1-10 所示。



（a）外形　　（b）结构

1—接线柱；2—绝缘杆；3—手柄；4—转轴；5—速断弹簧；6—凸轮；7—绝缘垫板；8—动触片；9—静触片。

图 1-9　组合开关的外形和结构



（a）单极　　（b）双极

图 1-10　组合开关的电气符号

常用的组合开关有 HZ 系列，其型号含义如图 1-11 所示。

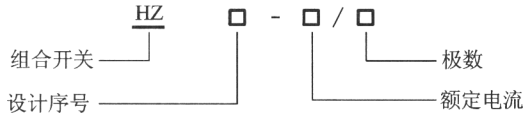


图 1-11　HZ 系列组合开关的型号含义

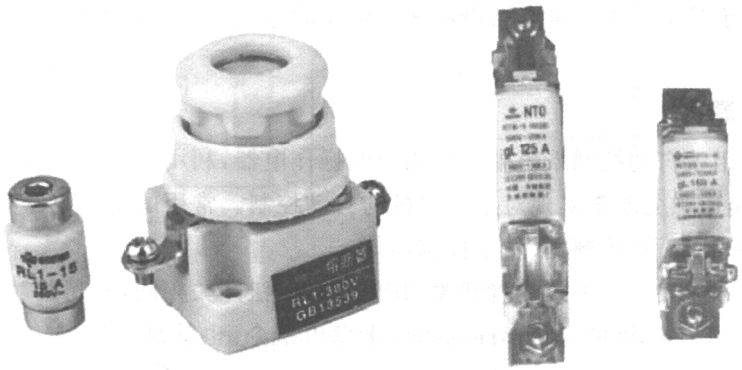
组合开关有体积小、使用寿命长、结构简单、操作方便、灭弧性能较好等优点，应根据电源开关的种类、电压等级、所需触点数目及电动机的容量进行选用。

四、熔断器

熔断器是低压电路和电动机控制电路中最常用的短路保护电器。当电路中电流超过规定值一定时间后，熔断器以它本身产生的热量使熔断体熔化而分断电路，也可以说它是一种利用热效应原理工作的电流保护电器。熔断器串接于被保护电路中，能在电路发生短路或严重过电流时快速自动熔断，从而切断电路电源，起到保护作用。

1. 熔断器的结构与分类

熔断器由熔断管（或盖、座）、熔断体（常称熔丝或熔体）、填料等组成。常见的熔断器如图 1-12 所示。



（a）螺旋式熔断器　　（b）NT系列刀形触头熔断器

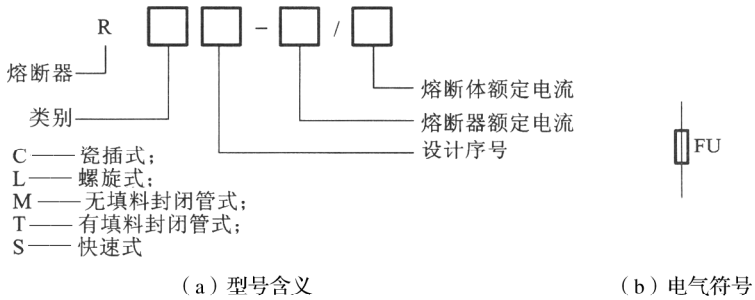
图 1-12　常见的熔断器

（1）熔断管。熔断管是由硬质纤维或瓷质绝缘材料制成封闭或半封闭式管状外壳，熔断体装于其内。熔断管有利于熔断体熔断时熄灭电弧。

（2）熔断体。熔断体有丝状、带状、片状或笼状等不同的形状，由金属材料制成。

（3）填料。广泛应用的填料是石英砂。填料主要有两个作用，即作为灭弧介质和帮助熔断体散热，从而有助于提高熔断器的限流能力和分断能力。

熔断器按结构形式可分为瓷插式、螺旋式、无填料封闭管式、有填料封闭管式等类型。熔断器的型号含义和电气符号如图 1-13 所示。



（a）型号含义　　（b）电气符号

图 1-13　熔断器的型号含义和电气符号

2. 熔断器的主要技术参数

（1）熔断器额定电流，指保证熔断器能长期安全工作的额定电流。

（2）熔断体额定电流，指在正常工作时熔断体不熔断的工作电流。

3. 熔断器的选择

熔断器的额定电压要大于或等于电路的额定电压，熔断器的额定电流要依据负载情况而选择。

（1）为防止发生越级熔断，上、下级（供电干线、支线）熔断器之间应有良好的协调配合，上一级（供电干线）熔断器比下一级熔断器（供电支线）中熔断体的额定电流应大 1 个或 2 个级差。

（2）电阻性负载或照明电路中熔断器的选择。这类负载启动过程很短，运行电流较平稳，一般按负载额定电流的 1～1.1 倍选择熔断体的额定电流，进而选定熔断器的额定电流。

（3）电动机控制电路中熔断器的选择。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，一般选择熔断体的额定电流为电动机额定电流的 1.5～2.5 倍；对于多台电动

机，熔断体的额定电流应大于或等于其中最大容量电动机的额定电流的 1.5～2.5 倍，再加上其余电动机的额定电流之和。

五、接触器

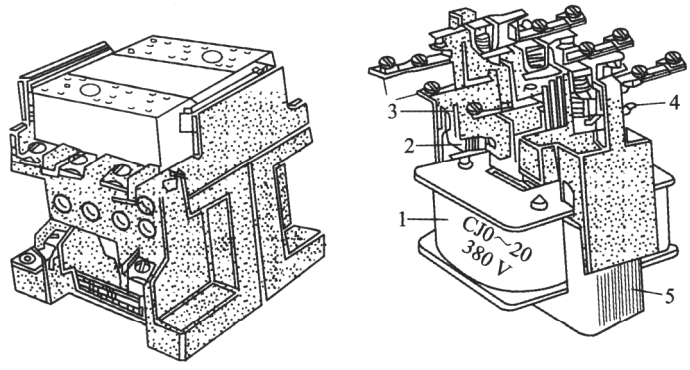
接触器是通过电磁机构动作，频繁地接通和分断主电路的远距离操纵电器，按其主触点通过电流种类的不同，分为交流接触器和直流接触器。接触器控制容量大且具有低电压保护功能，所以在工厂电气设备中应用非常广泛。

（一）接触器的结构和工作原理等

交流接触器应用更广泛，下文主要介绍交流接触器。

（1）结构。

交流接触器主要由电磁系统、触点系统、灭弧装置等部分组成，其外形和结构如图 1-14 所示。



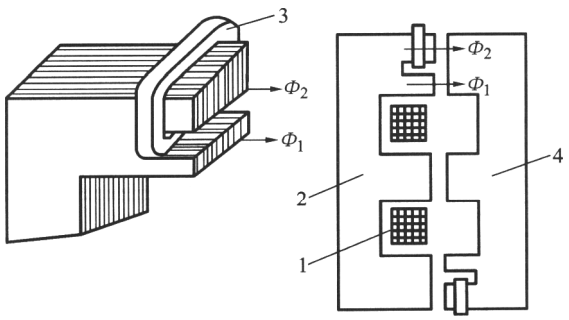
（a）外形　　（b）结构

1—线圈；2—动铁芯；3—主触点；4—辅助触点；5—静铁芯。

图 1-14　交流接触器的外形和结构

①电磁系统。交流接触器的电磁系统由线圈、静铁芯和动铁芯（衔铁）等组成，其作用是操纵触点的闭合与分断。

交流接触器的铁芯（静铁芯和动铁芯）一般用硅钢片叠压而成，以减少交变磁场在铁芯中产生的涡流及磁滞损耗，避免铁芯过热。为了减小交流接触器吸合时产生的振动和噪声，一般在铁芯上装有一个短路铜环（又称减振环），如图 1-15 所示。当线圈中通有交流电时，在静铁芯上产生的是交变磁通，它对动铁芯的吸力按正弦规律变化。当磁通经过零值时，静铁芯对动铁芯的吸力也为零，动铁芯在弹簧的作用下有释放的趋势，使动铁芯不能被紧紧吸住，产生振动，发出噪声。同时，这种振动使动铁芯与静铁芯容易磨损，造成触点接触不良。短路铜环相当于变压器的一个副绕组，当电磁线圈通入交流电时，线圈电流 I_1 产生磁通 Φ_1，短路铜环中产生感应电流 I_2，形成磁通 Φ_2。由于 I_1 与 I_2 的相位不同，所以 Φ_1 与 Φ_2 的相位也不同，即 Φ_1 与 Φ_2 不同时为零。这样，在磁通 Φ_1 为零时，Φ_2 不为零而产生吸力，使动铁芯始终被静铁芯吸牢，振动和噪声显著减小。

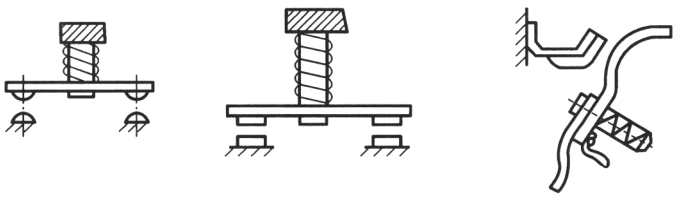


1—线圈；2—静铁芯；3—短路铜环；4—动铁芯。

图 1-15　交流接触器的短路铜环

②触点系统。交流接触器的触点按功能不同分为主触点和辅助触点两类。主触点用来接通和分断电流较大的主电路，体积较大，一般由三对常开触点组成；辅助触点用来接通和分断小电流的控制电路，体积较小，有常开和常闭两种。如 CJ0～10 系列交流接触器有三对常开主触点、两对常开辅助触点和两对常闭辅助触点。触点通常用紫铜制成，由于铜的表面容易被氧化生成氧化铜，氧化铜为不良导体，所以一般都在触点的接触点部分镶上银块，使之接触电阻小，导电性能好，使用寿命长。

交流接触器的触点分为桥式触点和指形触点，分别如图 1-16（a）和图 1-16（b）所示。桥式触点又分为点接触桥式和面接触桥式两种。图 1-16（a）的左图所示为两个点接触的桥式触点，适用于电流不大且压力小的场合，如作为辅助触点应用的场合；图 1-16（a）的右图所示为两个面接触的桥式触点，适用于大电流的场合，如作为主触点应用的场合。线接触指形触点见图 1-16（b）的接触区域为一条直线，在触点闭合时产生滚动接触，适用于动作频繁、电流大的场合，如作为主触点应用的场合。



（a）桥式触点　　（b）线接触指形触点

图 1-16　交流接触器的触点

为了使触点接触更加紧密，减小接触电阻，消除开始接触时产生的有害振动，加大触点闭合时的互压力，桥式触点或指形触点都安装有压力弹簧。

③灭弧装置。交流接触器在分断大电流或高电压电路时，其触点间气体在强电场作用下放电，形成电弧。电弧发光、发热，灼伤触点，并使电路切断时间延长，容易引发事故，因此，必须采取措施使电弧迅速熄灭。常用的灭弧方式有以下几种。

a. 电动力灭弧。利用触点分断时本身的电动力将电弧拉长，使电弧热量在拉长的过程中冷却而迅速熄灭，如图 1-17 所示。

b. 双断口灭弧。将整个电弧分成两段，同时利用触点分断时产生的电动力，使电弧迅速熄灭。它适用于桥式触点，如图 1-18 所示。

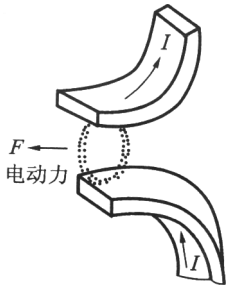


图 1-17　电动力灭弧

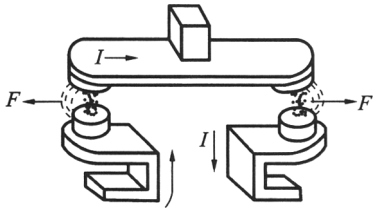


图 1-18　双断口灭弧

c. 纵缝灭弧。如图 1-19 所示，灭弧罩内有一条纵缝，下宽上窄，下宽便于放置触点，上窄有利于电弧压缩，并和灭弧室壁有很好的接触。当触点分断时，电弧被外界磁场或电动力横吹进入缝内，其热量传递给室壁而迅速被冷却熄灭。

d. 栅片灭弧。如图 1-20 所示，其装置主要由灭弧栅和灭弧罩组成。灭弧栅用镀铜的薄铁片制成，各栅片之间相互绝缘。灭弧罩用陶土或石棉水泥制成。当触点分断电路时，在动触点与静触点间产生电弧，电弧产生电场。由于薄铁片的磁阻比空气小得多，因此，电弧上部的磁通容易通过灭弧栅形成闭合回路，使电弧上部的磁通很稀而下部的磁通很密。这种上稀下密的磁场分布对电弧产生向上运动的力，将电弧拉长到灭弧栅片当中。栅片将电弧分割成若干短弧，一方面，使栅片间的电弧电压低于燃弧电压；另一方面，栅片将电弧的热量散发，使电弧迅速熄灭。

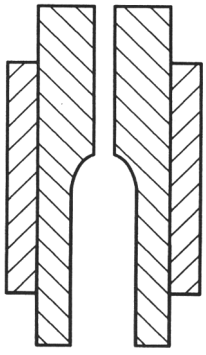
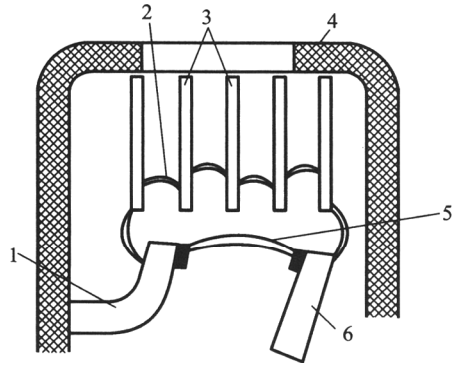


图 1-19　纵缝灭弧



1—静触点；2—短电弧；3—灭弧栅；4—灭弧罩；5—电弧；6—动触点。

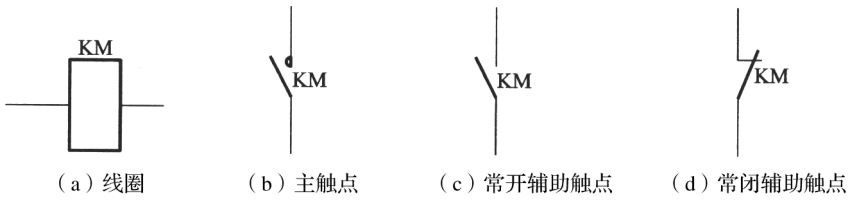
图 1-20　栅片灭弧

④其他部件。交流接触器除上述三个主要部分外，还包括反力弹簧、复位弹簧、缓冲弹簧、触点压力弹簧、传动机构、接线柱、外壳等部件。

（2）工作原理。当线圈与电源接通时，线圈电流产生磁场，使静铁芯产生足以克服弹簧反作用力的吸力，将动铁芯向下吸合，使常开主触点和常开辅助触点闭合，常闭辅助触点断开。主触点将主电路接通，辅助触点则接通或分断与之相连的控制电路。

当线圈失电时，静铁芯吸力消失，动铁芯在反力弹簧的作用下复位，各触点也随之复位，将有关的主电路和控制电路分断。

（3）图形符号、文字符号和型号。接触器的电气符号如图 1-21 所示。



（a）线圈　（b）主触点　（c）常开辅助触点　（d）常闭辅助触点

图 1-21　接触器的电气符号

常用的交流接触器有 CJ0、CJ10、CJ12、CJ20 等系列产品，其型号含义如图 1-22 所示。

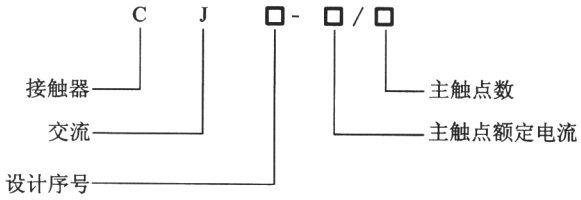


图 1-22　交流接触器的型号含义

除了国产交流接触器以外，我国还引进了德国西门子公司的 3TB 系列、BBC 公司的 B 型系列等产品。这些产品结构紧凑、外形尺寸小、安装方便、使用寿命长、技术经济指标优越，符合 VDE、IEC 标准的要求。

（二）接触器的选择

（1）接触器主触点的额定电压应大于或等于被控电路的额定电压。

（2）接触器主触点的额定电流应大于或等于 1.3 倍的电动机的额定电流。

（3）接触器线圈额定电压选择。当线路简单、使用电器较少时，接触器线圈的额定电压可选用 220 V 或 380 V；当线路复杂、使用电器较多或场所不太安全时，接触器线圈的额定电压可选用 36 V 或 110 V。

（4）接触器的触头数目、种类应满足控制线路要求。

（5）当通断电流较大及通断频率超过规定值时，应选用额定电流大一级的接触器；否则会使触头严重发热，甚至熔焊在一起，造成电动机等负载缺相运行。

任务分析

图 1-23 所示为三相异步电动机的点动控制电路的电气原理图。电源开关 QF 作为电源隔离开关，熔断器 FU 作为主电路、控制电路的短路保护，启动按钮 SB 控制接触器 KM 的线圈得电、失电，接触器 KM 的主触头控制电动机 M 的启动与停止，热继电器 FR 用于保证电流安全。

电路工作原理如下。

①通电。合上 QF。

②启动。按下 SB→KM 的线圈得电→KM 的主触点闭合→M 得电启动并进入运行状态。

③停止。松开 SB→KM 的线圈失电→KM 的主触点复位→M 失电停转。

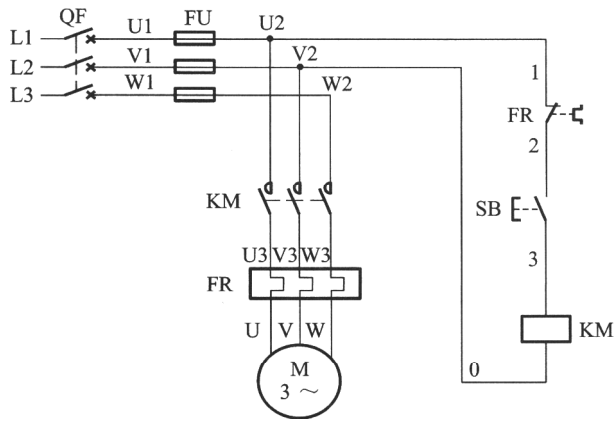


图 1-23　点动控制电路的电气原理图

任务工具

根据实验内容及要求，选择所需元器件的型号与规格和数量，并列出所用的工具、仪表、设备和材料明细，如表 1-1 所示。

表 1-1　元器件、工具、仪表、设备和材料明细表

序号	名称	型号与规格	单位	数量	备注
1	三相异步电动机	Y112M-4，4 kW，380 V，Y/△接法	台	1	表中所列型号与规格仅供参考，可根据实际情况自定
2	三相四线电源	AC3×380/220 V，20 A	个	1	
3	配线板	500 mm×600 mm×20 mm	块	1	
4	自动空气开关	DZ10-25/3	个	1	
5	熔断器	RL1-60/25，380 V，20 A	个	3	
6	万用表	VC9808＋	块	1	
7	电工工具	剥线钳、十字螺丝刀、剪线钳等	套	1	
8	热继电器	JR20-10	只	1	
9	按钮	LAY39-11、LAY39-10	只	各 1	
10	接触器	CJ20-10，线圈电压 220 V，10 A	只	1	
11	连接导线	BVR1.5，1.5 mm^2（黄、绿、红、蓝）	m	若干	
12	端子排	TC2-20A，10 节或配套自定	个	若干	

任务实施

一、绘制点动控制电路的电气原理图和接线图

三相交流异步电动机的点动控制电路的电气原理图为图 1-23；接线图为图 1-24。

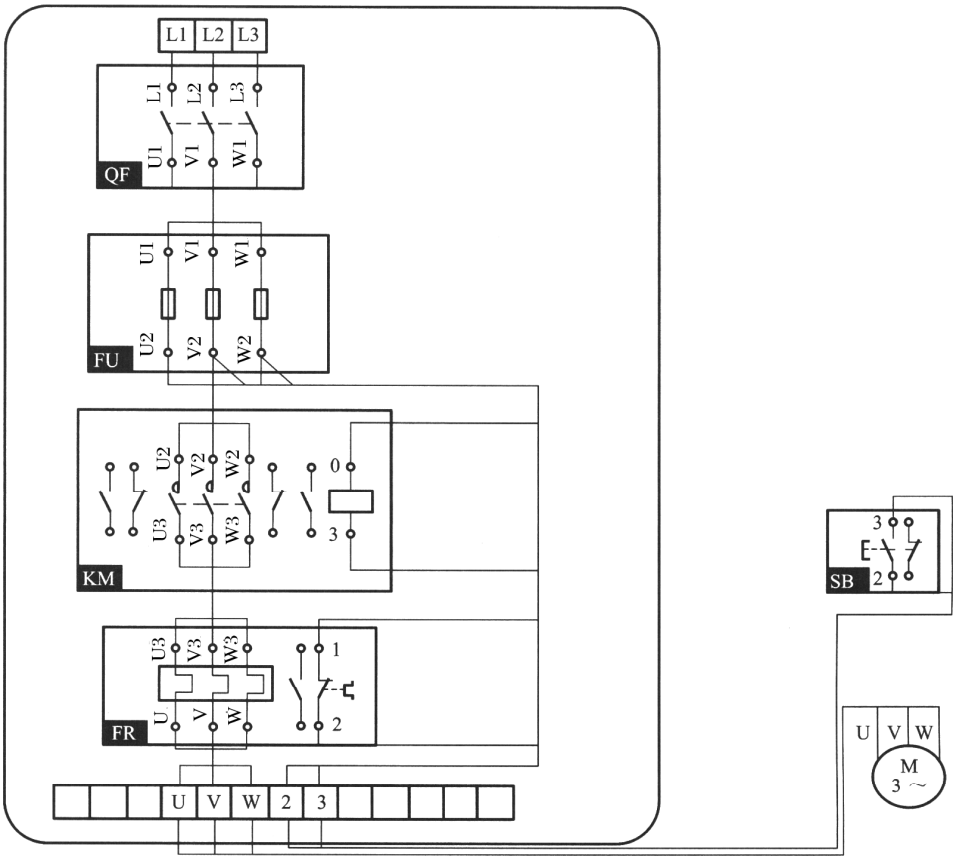


图 1-24　点动控制电路的接线图

二、安装接线

（1）按表 1-1 配齐所用元器件，并对其进行质量检验。元器件应完好无损，各项技术指标符合规定要求，否则应予以更换。

（2）在控制板上按照图 1-25 所示的元器件布置图安装元器件，并给每个元器件贴上醒目的文字符号。

注意：各元器件的位置应布局合理、整齐、均匀。

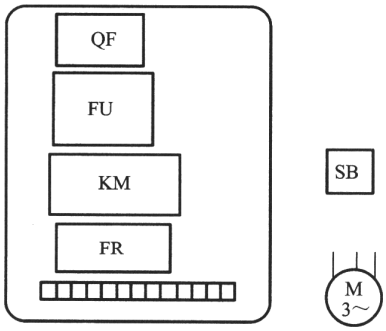


图 1-25　点动控制电路的元器件布置图

（3）按图 1-24 所示进行板前明线布线和套编码套管，做到布线整齐、横平竖直、分布均匀、走线合理；套编码套管正确；严禁损伤线芯和导线绝缘；接点牢靠、不得松动、不得压

绝缘层、不反圈、不露太长的线芯等。

（4）安装电动机，要求安装牢固平稳，以防止在换向时产生滚动而引起事故。

（5）可靠连接电动机和按钮金属外壳的保护接地线。

（6）连接电源、电动机等控制板外部的导线。

（7）安装完毕后必须经过认真检查，检查合格后才可通电。检查方法如下。

①对照接线图进行粗查。从接线图的电源端开始，逐段核对接线及接线端子处的线号是否正确，检查导线接点是否牢固，不牢固会导致带负载运行时产生闪弧现象。

②用万用表进行通断检查。先查主电路，此时应断开控制电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U1 与 U2、V1 与 V2、W1 与 W2 之间的线端上，读数应接近零；人为将接触器 KM 吸合，再将表笔分别放在 Ul 与 V1、V1 与 W1、U1 与 W1 之间接线端上，此时万用表的读数应为电动机绕组的值（此时电动机应为 Δ 接法）。

③再检查控制电路，此时应断开主电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U2、V2 线端上，读数应为“∞”；按下 SB 时，读数应为 KM 的线圈的电阻值。

（8）在教师的指导下通电试车。合上 QF，按下 SB，观察 KM 是否吸合，M 是否运转。在观察中若遇到异常现象，应立即停车，检查故障。

（9）通电试车完毕后，切断电源。



一、考核任务

1. 工艺要求

根据图 1-24 所示检查配线板布线的正确性。

（1）接线要与接线点垂直并且不能有毛刺，裸线长度不超过 2 mm。

（2）布线要合理，不能太长也不能太短。

（3）接线、压线时不能漏铜，更不能压住绝缘层。

（4）去掉绝缘层长度要适当。

（5）连接线“鼻子”时应该顺时针方向拧紧。

（6）不能损坏工具和元器件。

（7）接线点要标明线号。

2. 自检

（1）按接线图从电源端开始，逐段核对接线及线端处线号是否正确，有无漏接、错接之处。检查接线点是否符合要求，压线是否牢固。同时要求接线点接触良好，以避免带负载运转时产生闪弧现象。

（2）用万用表检查线路的通断情况。检查时，应选用 R×100 的电阻挡，并进行校零，以防发生短路故障。

（3）检查控制电路。可将万用表的表笔分别搭接在 U2、V2 线端上，万用表读数应为“∞”，按下 SB 时读数应为接触器线圈直流电阻的值（约 2 kΩ），松开 SB 时读数回到“∞”。

（4）检查主电路时，可以手动来代替接触器受电线圈励磁吸合时的情况进行检查，即启

动 KM 的触点系统，用万用表检测 L1 与 U、L2 与 V、L3 与 W 是否导通。

3. 通电试车

（1）为保证安全，通电试车必须在教师的指导下进行。通电试车前应做好准备，包括清点元器件，清除安装底板上的线头、杂物，检查各组熔断器的熔断体；分断各开关使按钮处于未操作前的状态，检查三相电源是否对称等，然后通电试车。

（2）空操作试验。正确连接好电源后，接通三相电源，使线路不带负载（电动机）通电操作，以检查辅助电路工作是否正常。操作各按钮，检查它们对接触器的控制作用；检查接触器的控制作用；注意有无卡住或阻滞等不正常现象；细听有无过大的振动噪声。

（3）带负载试车。控制线路经过数次空操作试验动作无误后，即可切断电源，再正确连接好电动机带负载试车。电动机启动前应先做好停车准备，启动后要注意它的运行情况。如果发现电动机启动困难、发出噪声及线圈过热等异常现象，应立即停车，切断电源后进行检查。

4. 注意事项

（1）接电前必须征得教师同意，并由教师现场指导。

（2）学生合上 QF 后，不得对线路是否正确进行带电检查。

（3）第一次按下 SB 时，应短时点动，以观察线路和 M 运行有无异常现象。

（4）通电试车成功率以通电后第一次按下 SB 的时间计算。

（5）出现故障后，学生应独立检修。若需带电检修，必须有教师在场指导。

（6）检修完毕后再次通电试车，也应由教师指导，并做好项目内容操作记录。

二、考核要求及评分标准

任务检查与评价标准见表 1-2。

表 1-2　任务检查与评价标准

主要内容	评分标准	配分	扣分
小组代表汇报讲解	（1）讲解不全面，扣 1～10 分； （2）条理不够清晰，扣 1～10 分	20	
电气原理图的绘制	（1）主电路不符合标准，扣 2 分； （2）控制电路不符合标准，扣 2 分； （3）信号、照明等不符合标准，扣 2 分	10	
元器件布置图、接线图的绘制	（1）元器件布置不整齐、不匀称、结构不合理，每处扣 1～5 分； （2）尺寸标注不正确，每处扣 1 分； （3）损坏元器件，每只扣 5 分； （4）线号标注不准确、不齐全，扣 2 分； （5）走线不合理，扣 2 分	15	

续表

主要内容	评分标准	配分	扣分
元器件的选用、检查和安装	(1) 元器件选择不合理，每只扣 1～5 分； (2) 元器件漏检或错检，扣 5 分； (3) 不按图安装，扣 10 分； (4) 元器件安装不牢固，每只扣 5 分； (5) 元器件安装不整齐、不匀称、不合理，每只扣 4 分； (6) 损坏元器件，扣 15 分； (7) 本项目不得负分	15	
接线质量	(1) 不按接线图接线，扣 10 分； (2) 布线不美观、不平直、不整齐、不紧贴敷设面，主电路、控制电路每处扣 1 分； (3) 节点松动，漏铜过长，压绝缘层，每处扣 1 分	10	
通电前检测、通电试车	(1) 主电路测量不正确，扣 5 分； (2) 控制电路测量不正确，扣 5 分； (3) 一次通电试车不成功，扣 10 分； (4) 两次通电试车不成功，扣 15 分	20	
安全文明生产、团队合作精神	(1) 小组分工不够好，扣 1～5 分； (2) 违反安全文明生产规范，扣 5～10 分	10	
备注	各项扣分最高不超过该项配分	成绩	



电气控制系统图的分类及电气原理图的绘制

电气控制系统是由许多元器件按照一定要求连接而成的。为了表达生产机械电气控制系统的结构、原理等设计意图，同时也为了便于电气系统的安装、调整、使用和维修，需要将电气控制系统中各元器件及其连接用一定的图形表达出来，这种图就是电气控制系统图。

为了提高电气系统图的通用性，国家标准局参照国际电工委员会（International Electrotechnical Commission，IEC）颁布的有关文件，制定了我国电气设备的有关国家标准。电气符号分为图形符号和文字符号。图形符号通常用在电气控制系统图中，用以表示一个设备或器件的图形。文字符号适用于电气技术文件（包括电气控制系统图）用以标明电气设备和元器件的名称、功能、状态及特征。

电气系统图一般有三种：电气原理图、元器件布置图、电气安装接线图。接下来主要介绍电气原理图的绘制。

电气原理图用电气符号表示电路中各个元器件的连接关系和电气工作原理，它并不反映元器件的实际大小和安装位置。现以 CW6132 型卧式车床的电气原理图（见图 1-26）为例来说明如何绘制电气原理图。

(1) 电气原理图一般分为主电路、控制电路和辅助电路三个部分。

主电路包括从电源到电动机的电路，是大电流通过的部分，画在图的左边（见图 1-26 中

的 1、2、3 区），用粗实线绘出。控制电路一般由按钮、继电器触点、接触器辅助触点、线圈等组成，控制电路通过的电流相对较小，用细实线绘出（见图 1-26 中的 4、5 区）。辅助电路一般指照明、信号指示、检测等电路（见图 1-26 中的 6、7 区）。各电路均应尽可能按动作顺序由上至下、由左至右画出。

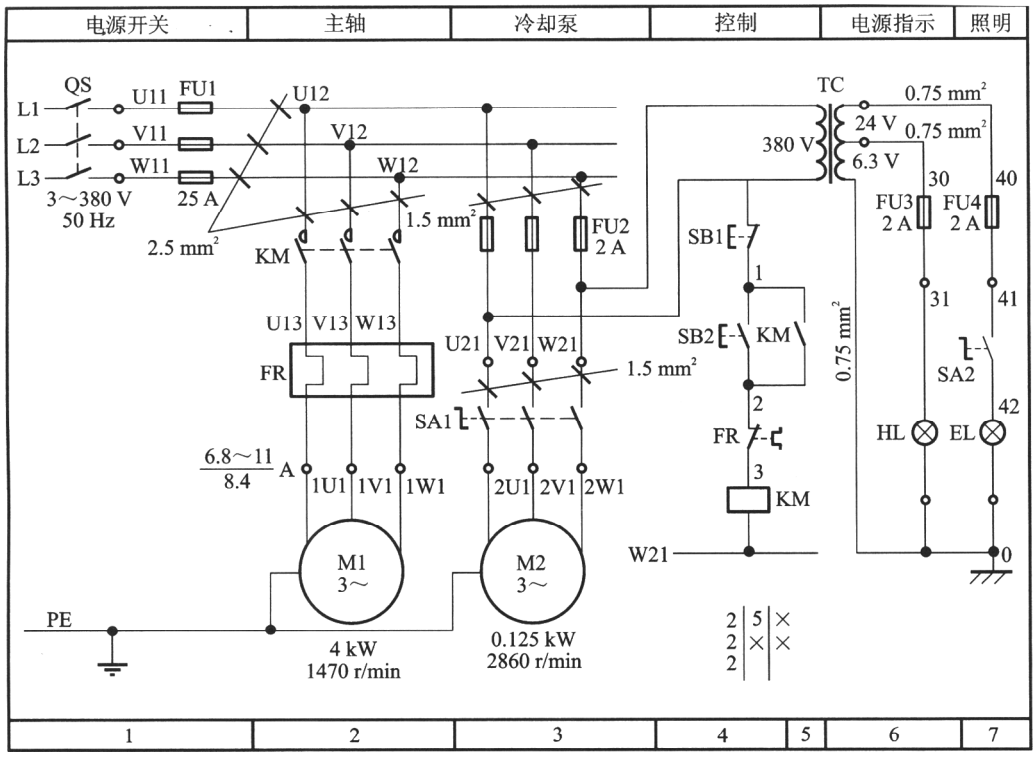


图 1-26　CW6132 型卧式车床的电气原理图

（2）主电路标号由文字符号和数字组成。

文字符号用来标明主电路或线路的主要特征，数字用于区别电路不同线段。三相交流电源引入线采用 L1、L2、L3 标号，电源开关之后的三相主电路分别标 U、V、W。如 U11 表示电动机第一相的第一个接点代号，U21 为第一相的第二个接点代号，以此类推。

（3）控制电路由三位或三位以下数字组成。

交流控制电路的标号一般以主要压降元件（如线圈）为分界，横排时，左侧用奇数，右侧用偶数；竖排时，上面用奇数，下面用偶数。在直流控制电路中，电源正极按奇数标号，负极按偶数标号。

（4）应尽量减少线条数量，避免线条交叉。

各导线之间有电联系时，应在导线交叉处画实心圆点。根据图面布置需要，可以将图形符号旋转绘制，一般按逆时针方向旋转 90°，但其文字符号不可以倒置。

（5）在电气原理图中，所有元器件的触点均按“平常”状态绘出。

所谓“平常”状态，对于按钮、行程开关类电器是指没有受到外力作用时的触点状态；对于继电器、接触器等是指线圈没有通电时的触点状态；对于控制器，应按其手柄处于零位时的状态绘出。

（6）电气原理图中所有元器件的图形符号和文字符号必须符合国家规定的统一标准。

在电气原理图中，元器件采用展开图的画法。即同一电器的各个部件可以不画在一起，但必须用同一文字符号标注。对于同类电器，应在文字符号后加数字以示区别（见图 1-26 中

的 FU1～FU4）。

（7）在电气原理图上应标出各个电源电路的电压值、极性或频率及相数。

对某些元器件还应标注其特性（如电阻、电容的值等）；不常用的电器（如位置传感器、手动开关等）还要标注其操作方式和功能等。

（8）动力电路的电源线应水平画出，主电路应垂直于电源线画出。

控制电路和辅助电路应垂直于两条或几条水平电源线之间；耗能元件（如线圈、电磁阀、照明灯、信号灯等）应接在下面一条电源线一侧，而各种控制触点应接在另一条电源线上。

（9）为方便阅图，可将电气原理图分成若干个图区。

图区行的代号用英文字母表示，一般可省略，列的代号用阿拉伯数字表示。图区编号写在图的下面，并在图的顶部标明各图区电路的作用。

思考练习

1. 低压电器是指工作于交流_____ V 以下或直流_____ V 以下电路中的电器。

2. 按钮帽做成不同颜色用以区别各按钮作用，一般用_____色表示_____按钮，_____色表示_____按钮。

3. 熔断器用于各种电气电路中作_____保护。

4. 当电路正常工作时，熔断器的熔断体允许长期通过 1.2 倍的额定电流而不熔断。当电路发生_____或_____时，熔断体熔断而电路被切断。

5. 熔断器的熔断体允许长期通过 1.2 倍的额定电流，通过的_____越大，熔断体熔断的_____越短。

6. 根据接触器主触点通过电流种类的不同，可分为_____和_____。

7. 交流接触器主要由_____、_____和_____等部分组成。

8. 接触器选用时，其主触点的额定工作电压应_____或_____被控电路的额定电压，吸引线圈的额定电压应与控制回路的电压_____。

9. 接触器的触点分_____与_____，其中前者用于通断较大电流的_____，后者用于通断小电流的控制电路。

10. 电气系统图是指_____、_____和电气安装接线图。

11. 线圈未通电时触点处于断开状态的触点称为_____，而处于闭合状态的触点称为_____。

12. 交流接触器的主触点、辅助触点和线圈各接在什么电路中？

任务二 三相异步电动机长动控制电路的安装、调试与检测

任务要求

绘制三相交流异步电动机长动控制电路接线图；完成三相交流异步电动机的长动控制电路的安装、调试与检测。

知识链接

一、低压断路器

低压断路器又称为自动空气开关或自动空气断路器，在低压电路中用来分断和接通负载电路，控制电动机的运行和停止。低压断路器在电路中除起控制作用外，还具有一定的保护功能，如短路、过载、欠压、漏电保护等，能自动切断故障电路，保护用电设备的安全。其型号含义如图 1-27 所示。

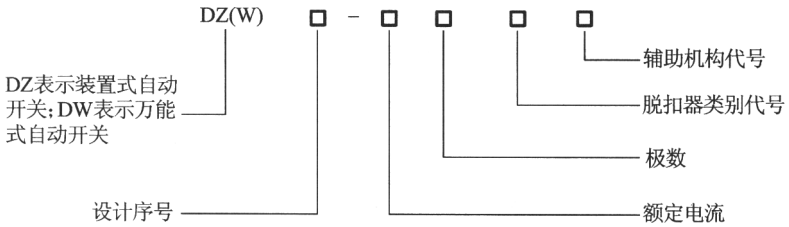
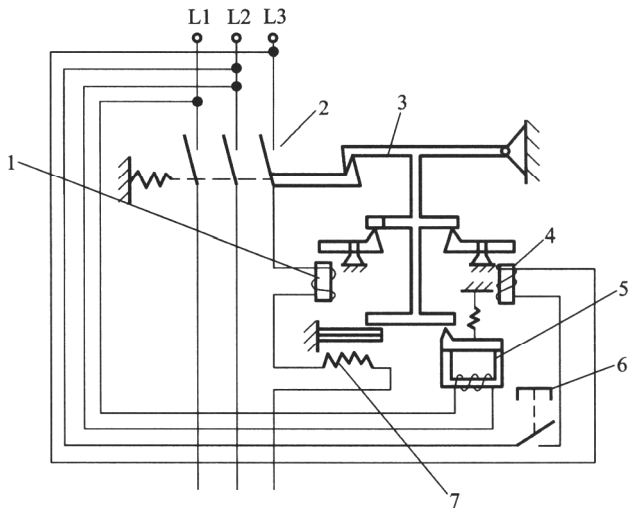


图 1-27 低压断路器的型号含义

（一）低压断路器的结构和工作原理

低压断路器主要由触头、灭弧装置、操动机构、保护装置等组成。低压断路器的保护装置由各种脱扣器来实现。低压断路器的脱扣器形式有过电流脱扣器、热脱扣器、欠电压脱扣器、分励脱扣器等。其工作原理图如图 1-28 所示。

开关主触点依靠操作机构或电动合闸实现断合。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与电源并联。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弯曲变形，顶动自由脱扣器的衔铁释放，也使自由脱扣机构动作。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。分励脱扣器则用作远距离分断电路。



1—过电流脱扣器；2—主触点；3—自由脱扣机构；4—分励脱扣器；
5—欠电压脱扣器；6—启动按钮；7—热脱扣器。

图 1-28　低压断路器的电气原理图

（二）低压断路器的分类

低压断路器的分类方式很多，按极数分为单极式、二极式、三极式和四极式低压断路器；按灭弧介质分为空气式和真空式（目前国产多为空气式）低压断路器；按操作方式分为手动操作、电动操作和弹簧储能机械操作低压断路器；按安装方式分为固定式、插入式、抽屉式和嵌入式低压断路器等；按结构形式分为 DW15、DW16、CW 系列万能式（又称框架式）和 DZ5 系列、DZ15 系列、DZ20 系列、DZ25 系列塑壳式低压断路器。低压断路器容量范围很大，最小为 4 A，最大可达 5000 A。

常用的低压断路器有装置式低压断路器和万能式低压断路器。

控制线路中常用装置式低压断路器。装置式低压断路器又称为塑壳式低压断路器，通过用模压绝缘材料制成的封闭型外壳将所有构件组装在一起，用于电动机及照明系统的控制、供电线路的保护等。其主要型号有 DZ5、DZ10、DZ15、DZ20 等系列。常作为电源引入开关或控制和保护不频繁启动、停止的电动机开关，以及宾馆、机场、车站等大型建筑的照明电路的开关。其操作方式多为手动，主要有扳动式和按钮式两种。

万能式低压断路器又称为框架式低压断路器，由具有绝缘衬垫的框架结构底座将所有的构件组装在一起，用于配电网络的保护。其主要型号有 DW10、DW15 两个系列。

低压断路器的电气符号如图 1-29 所示。

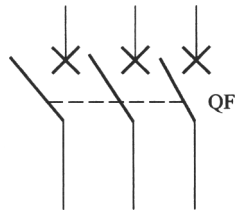


图 1-29　低压断路器的电气符号

（三）低压断路器的主要技术参数

（1）额定电流。

低压断路器中的额定电流分为以下两种。

①低压断路器壳架等级额定电流，用尺寸和结构相同的框架或塑料外壳中能装入的最大脱扣器额定电流表示。

②低压断路器额定电流是指在规定条件下低压断路器可长期通过的电流，又称为脱扣器

额定电流。对带可调式脱扣器的低压断路器而言，其是指可长期通过的最大电流。

（2）额定电压。额定电压是指与通断能力及使用类别相关的电压值。对多相电路而言，它是指相间的电压值。

（3）额定短路分断能力。额定短路分断能力是指低压断路器在额定频率和功率因数等规定条件下，能够分断的最大短路电流值。

（四）低压断路器的选择

（1）低压断路器的额定电压和额定电流应大于或等于被保护线路的正常工作电压和负载电流。

（2）热脱扣器的整定电流应等于所控制负载的额定电流。

（3）过电流脱扣器的瞬时脱扣整定电流应大于负载正常工作时可能出现的峰值电流，用于控制电动机的低压断路器。其瞬时脱扣整定电流为

$$I_Z = K I_{st} \tag{1-1}$$

式中，K——安全系数，取 $K=1.5\sim1.7$。

I_{st}——电动机的启动电流。

（4）欠电压脱扣器额定电压应等于被保护线路的额定电压。

（5）低压断路器的极限分断能力应大于线路的最大短路电流的有效值。

二、热继电器

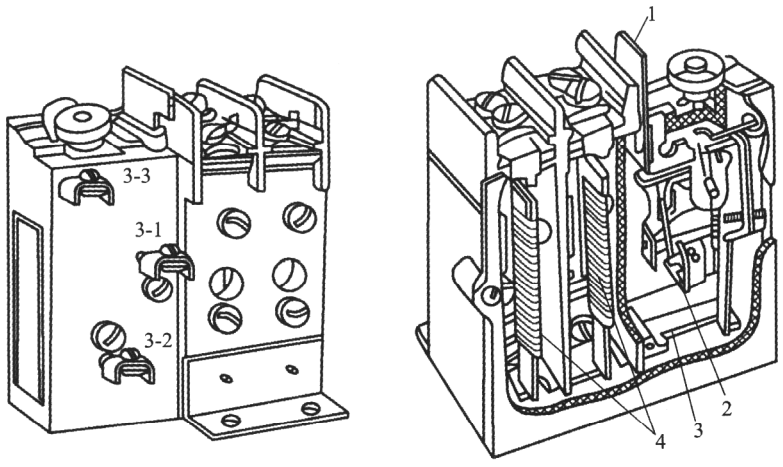


热继电器

热继电器是利用电流的热效应来推动动作机构，使触头系统闭合或分断的保护电器。其主要用于电动机的过载保护、断相保护、电流不平衡运行的保护及其他电气设备发热状态的控制。

（一）热继电器的结构和工作原理

热继电器的外形和结构如图 1-30 所示，它由热元件、触点、动作机构、复位按钮和整定电流装置等部分组成。

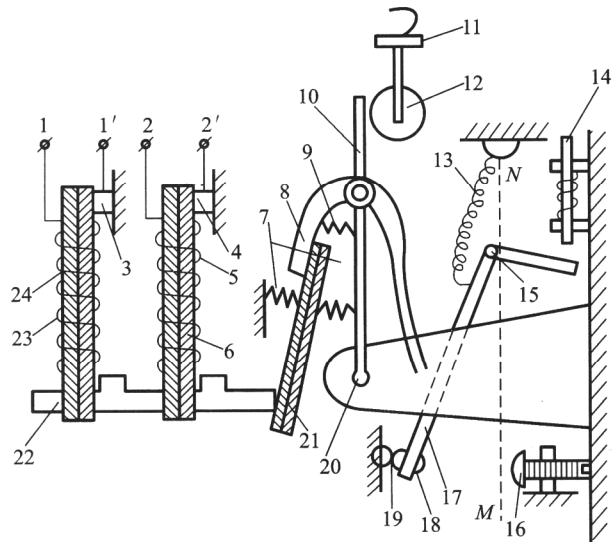


（a）外形　　（b）结构

1—复位按钮；2—常闭触点；3—动作机构；4—热元件。

图 1-30　热继电器的外形和结构

（1）热元件由双金属片及绕在双金属片外面的电阻丝组成，双金属片由两种热膨胀系数不同的金属片复合而成。使用时，将电阻丝直接串联在异步电动机的电路（见图 1-31 中的 1-1′及 2-2′）上。热元件的结构分为两相结构和三相结构。



1、1′、2、2′—接入电动机电路的端子；3、4—双金属片的固定点；5、23—电阻丝；6、24—双金属片；7—拉簧；8—推杆；9—压簧；10—连杆；11—旋转按钮；12—偏心轮；13—弹簧；14—复位按钮；15—转轴；16—常开触点；17—拉杆；18—公共动触点；19—常闭触点；20—连轴；21—补偿双金属片；22—导板。

图 1-31　热继电器的动作原理图

（2）热继电器的触点有两副，由一个公共动触点、一个常开触点分别和一个常闭触点组成。

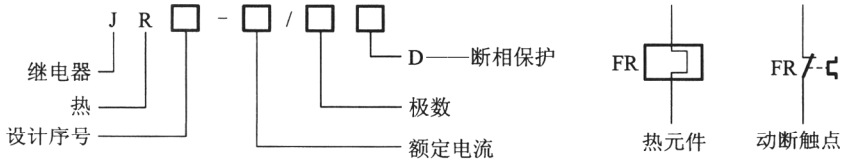
（3）动作机构由导板、补偿双金属片、推杆、拉杆和弹簧等组成。

（4）复位按钮是热继电器动作后进行手动复位的按钮。

（5）整定电流装置由旋转按钮和偏心轮组成，通过它们来调节整定电流（热继电器长期不动作的最大电流）的大小。在整定电流调节旋钮上刻有整定电流的标尺，旋动调节旋钮，使整定电流值等于电动机额定电流即可。

当电动机过载时，过载电流通过图 1-31 中串联在定子电路的电阻丝，使之发热过量，双金属片受热膨胀（两片的膨胀系数不同），膨胀系数较大的左边一片的下端向右弯曲；通过导板推动补偿双金属片使推杆绕轴转动，带动拉杆绕转轴转动，将常闭触点断开。常闭触点通常串联在接触器的线圈电路中，当它断开时，接触器的线圈失电，主触点释放，使电动机脱离电源而得到保护。

热继电器的型号含义和电气符号如图 1-32 所示。



（a）型号含义　　（b）电气符号

图 1-32　热继电器的型号含义和电气符号

（二）热继电器的选择

（1）热继电器的类型选择。

对于一般轻载启动、长期工作的电动机或间歇性长期工作的电动机，选择两相结构的热

继电器；对于电源电压的均衡性和工作环境较差或较少有人照管的电动机，或多台电动机的功率差别较大的电动机，可选择三相结构的热继电器；而定子绕组接成三角形的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。

（2）热继电器的电流选择。

①热继电器的额定电流应略大于电动机的额定电流。

②热继电器的整定电流是指热继电器长期不动作的最大电流，超过此值即动作。一般将热继电器的整定电流调整到等于电动机的额定电流；对过载能力差的电动机，可将热继电器的整定电流调整到电动机额定电流的 0.6～0.8；对启动时间较长、拖动冲击性负载或不允许停车的电动机，热继电器的整定电流应调整到电动机额定电流的 1.1～1.15 倍。

任务分析

长动控制电路的电气原理图如图 1-33 所示，它是一种广泛采用的连续运行控制线路。在点动控制电路的基础上，它又在控制回路中增加了一个停止按钮 SB1，还在启动按钮 SB2 的两端并接了接触器 KM 的一对辅助动合触点。

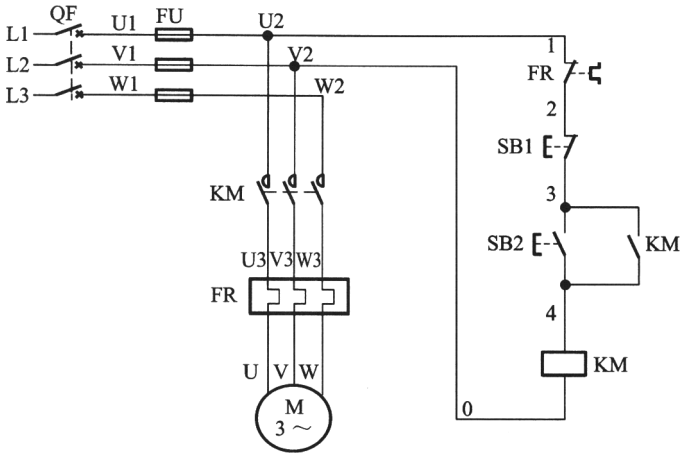


图 1-33　长动控制电路的电气原理图

长动控制电路的工作原理如下。

①通电。合上电源开关 QF。

②启动。

按下 SB2→KM 线圈得电 {KM 自锁触点（3，4）闭合实现自锁。
KM 主触点闭合→电动机得电运转。

③停止。

按下 SB1→KM 线圈失电 {KM 自锁触点（3，4）断开解除自锁。
KM 主触点断开→电动机断电停转。

停止使用时，断开 QF。

接触器依靠自身辅助动合触点使其线圈保持通电的现象称为自锁（或称自保），起自锁作用的辅助动合触点称为自锁触点（或称自保触点），这样的控制线路称为具有自锁（或自保）的控制线路。

任务工具

根据电动机型号和电气原理图，选择所需元器件的型号与规格和数量，并列出所用的工具、仪表、设备和材料明细，如表 1-3 所示。

表 1-3　元器件、工具、仪表、设备和材料明细表

序号	名称	型号与规格	单位	数量	备注
1	三相异步电动机	Y112M-4，4 kW、380 V、Y/△接法	台	1	表中所列型号与规格仅供参考，可根据实际情况自定
2	三相四线电源	AC3×380/220 V、20 A	个	1	
3	配线板	1500 mm×600 mm×20 mm	块	1	
4	自动空气开关	DZ10-25/3	个	1	
5	熔断器	RL1-60/25，380 V，20 A	个	3	
6	万用表	VC9808＋	块	1	
7	电工工具	剥线钳、十字螺丝刀、剪线钳等	套	1	
8	热继电器	JR20-10	只	1	
9	按钮	LAY39-11，LAY39-10	只	各 1	
10	接触器	CJ20-10，线圈电压 220 V，10 A	只	1	
11	连接导线	BVR1.5，1.5 mm^2（黄、绿、红、蓝）	m	若干	
12	端子排	TC2-20A，10 节或配套自定	个	若干	

任务实施

一、绘制长动控制电路的电气原理图和接线图

按任务要求绘制长动控制电路的电气原理图，如图 1-33 所示；接线图如图 1-34 所示。

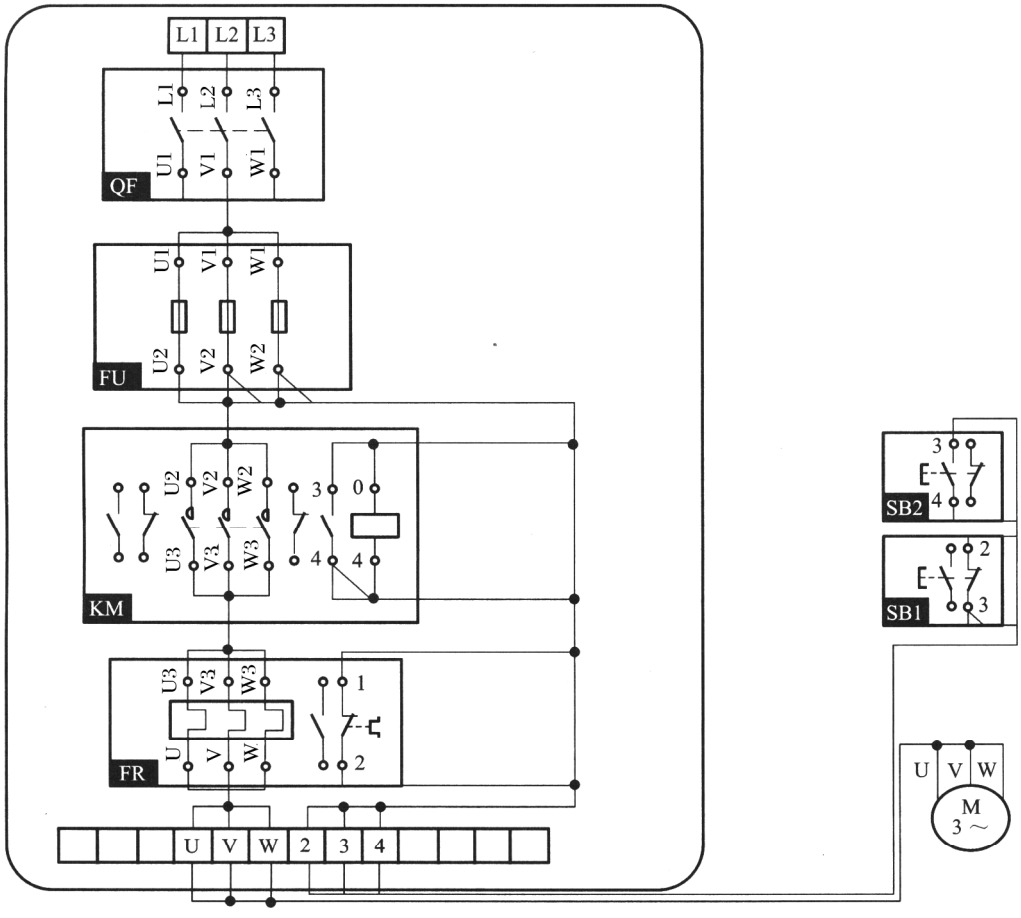


图 1-34　长动控制电路的接线图

二、安装接线

（1）按图 1-35 所示配齐所用元器件，并对其进行质量检验。元器件应完好无损，各项技术指标符合规定要求，否则应予以更换。

（2）在控制板上按照图 1-35 安装元器件，并给每个元器件贴上醒目的文字符号。

注意：各元器件的位置应布局合理、整齐、均匀。

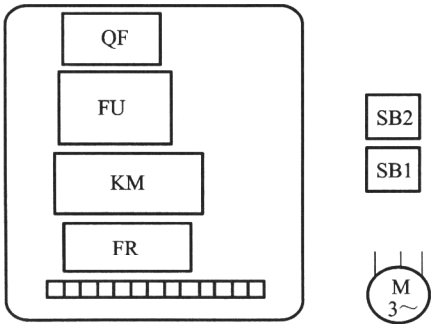


图 1-35　长动控制电路的元器件布置图

（3）按图 1-34 所示进行板前明线布线和套编码套管，做到布线整齐、横平竖直、分布均匀、走线合理；套编码套管正确；严禁损伤线芯和导线绝缘；接点牢靠、不得松动、不得压绝缘层、不反圈、不露太长的线芯等。

（4）安装电动机，要求安装牢固平稳，以防止在换向时产生滚动而引起事故。

（5）可靠连接电动机和按钮金属外壳的保护接地线。

（6）连接电源、电动机等控制板外部的导线。

（7）安装完毕后必须经过认真检查，检查合格后才可通电。检查方法如下。

①对照接线图进行粗查。从接线图的电源端开始，逐段核对接线及线端处的线号是否正确，检查导线接点是否牢固，不牢固会导致带负载运行时产生闪弧现象。

②用万用表进行通断检查。先查主电路，此时断开控制电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U1 与 U2、V1 与 V2、W1 与 W2 之间的线端上，读数应接近零；人为将 KM 吸合，再将表笔分别放在 U1 与 V1、V1 与 W1、U1 与 W1 之间的线端上，此时万用表的读数应为电动机绕组的值。

③再检查控制电路，此时应断开主电路，将万用表置于欧姆挡，将其表笔分别放在 U2、V2 线端上，读数应为“∞”；按下 SB2 时，读数应为 KM 线圈的电阻值。

（8）在教师的指导下通电试车。合上 QF，按下 SB2，观察接触器是否吸合，电动机是否运转。在观察中若遇到异常现象，应立即停车，检查故障。

（9）通电试车完毕，切断电源。

任务检查与评价

一、考核任务

1. 工艺要求

根据图 1-34 所示检查配线板布线的正确性。

（1）接线要与接线点垂直并且不能有毛刺，裸线长度不超过 2 mm。

（2）布线要合理，不能太长也不能太短。

（3）接线、压线时不能漏铜，更不能压住绝缘层。

（4）去掉绝缘层长度要适当。

（5）连接线“鼻子”时应该顺时针方向拧紧。

（6）不能损坏工具和元器件。

（7）接线点要标明线号。

2. 自检

（1）按接线图从电源端开始，逐段核对接线及线端处线号是否正确，有无漏接、错接之处。检查接线点是否符合要求，压线是否牢固。同时要求接线点接触良好，以避免带负载运转时产生闪弧现象。

（2）用万用表检查线路的通断情况。检查时，应选用 R×100 的电阻挡，并进行校零，以防发生短路故障。

（3）检查控制电路。可将万用表的表笔分别搭接在 U2、V2 线端上，万用表读数应为“∞”，按下 SB2 时读数应为接触器线圈直流电阻的值（约 2 kΩ），按下 SB1（或松开 SB2）时读数回到“∞”。

（4）检查主电路时，可以手动来代替接触器受线圈励磁吸合时的情况进行检查，即启动 KM 的触点系统，用万用表检测 L1 与 U、L2 与 V、L3 与 W 是否导通。

3. 通电试车

（1）为保证安全，通电试车必须在教师的指导下进行。通电试车前应做好准备，包括清点元器件，清除安装底板上的线头、杂物，检查各组熔断器的熔断体，分断各开关使按钮处于未操作前的状态，检查三相电源是否对称等，然后通电试车。

（2）空操作试验。正确连接好电源后，接通三相电源，使线路不带负载（电动机）通电操作，以检查辅助电路工作是否正常。操作按钮检查它们对接触器的控制作用；检查接触器的控制作用；注意有无卡住或阻滞等不正常现象；细听有无过大的振动噪声。

（3）带负载试车。控制线路经过数次空操作试验动作无误后，即可切断电源，再正确连接好电动机带负载试车。电动机启动前应先做好停车准备，启动后要注意它的运行情况。如果发现电动机启动困难、发出噪声及线圈过热等异常现象，应立即停车，切断电源后进行检查。

4. 注意事项

（1）接电前必须征得教师同意，并由教师现场指导。

（2）学生合上 QF 后，不得对线路是否正确进行带电检查。

（3）第一次按下 SB2 时，应短时点动，以观察线路和 M 运行有无异常现象。
（4）通电试车成功率以通电后第一次按下 SB2 的时间计算。
（5）出现故障后，学生应独立检修。若需带电检修，必须有教师在场指导。
（6）检修完毕后再次通电试车，也应由教师指导，并做好项目内容操作记录。

二、考核要求及评分标准

任务检查与评价标准见表 1-4。

表 1-4　任务检查与评价标准

主要内容	评分标准	配分	扣分
小组代表汇报讲解	（1）讲解不全面，扣 1～10 分； （2）条理不够清晰，扣 1～10 分	20	
电气原理图的绘制	（1）主电路不符合标准，扣 2 分； （2）控制电路不符合标准，扣 2 分； （3）信号、照明等不符合标准，扣 2 分	10	
元器件布置图、接线图的绘制	（1）元器件布置不整齐、不匀称、结构不合理，每处扣 1～5 分； （2）尺寸标注不正确，每处扣 1 分； （3）损坏元器件，每只扣 5 分； （4）线号标注不准确、不齐全，扣 2 分； （5）走线不合理，扣 2 分	15	
元器件的选用、检查和安装	（1）元器件选择不合理，每只扣 1～5 分； （2）元器件漏检或错检，扣 5 分； （3）不按图安装，扣 10 分； （4）元器件安装不牢固，每只扣 5 分； （5）元器件安装不整齐、不匀称、不合理，每只扣 4 分； （6）损坏元器件，扣 15 分； （7）本项目不得负分	15	
接线质量	（1）不按接线图接线，扣 10 分； （2）布线不美观、不平直、不整齐、不紧贴敷设面，主电路、控制电路每处扣 1 分； （3）节点松动，漏铜过长，压绝缘层，每处扣 1 分	10	
通电前检测、通电试车	（1）主电路测量不正确，扣 5 分； （2）控制电路测量不正确，扣 5 分； （3）一次通电试车不成功，扣 10 分； （4）两次通电试车不成功，扣 15 分	20	
安全文明生产、团队合作精神	（1）小组分工不合理，扣 1～5 分； （2）违反安全文明生产规范，扣 5～10 分	10	
备注	各项扣分最高不超过该项配分	成绩	

拓展知识

三相交流异步电动机点动与长动混合运行的控制电路

图 1-36 所示的电路既能进行点动控制，又能进行长动控制，所以称为点动和长动混合控制电路。在图 1-36 中，SB2 为连续运转启动按钮，当按下 SB2 时，其工作原理与长动控制电路的工作原理相同。SB3 为点动按钮，当按下 SB3 时，接触器 KM 线圈得电，其三个主触点闭合，电动机通电运转（此时，SB3 的动断触点分断，KM 的辅助动合触点的自锁不起作用）。当松开 SB3 时，接触器 KM 的线圈失电，三个主触点分断，电动机 M 失电停转。

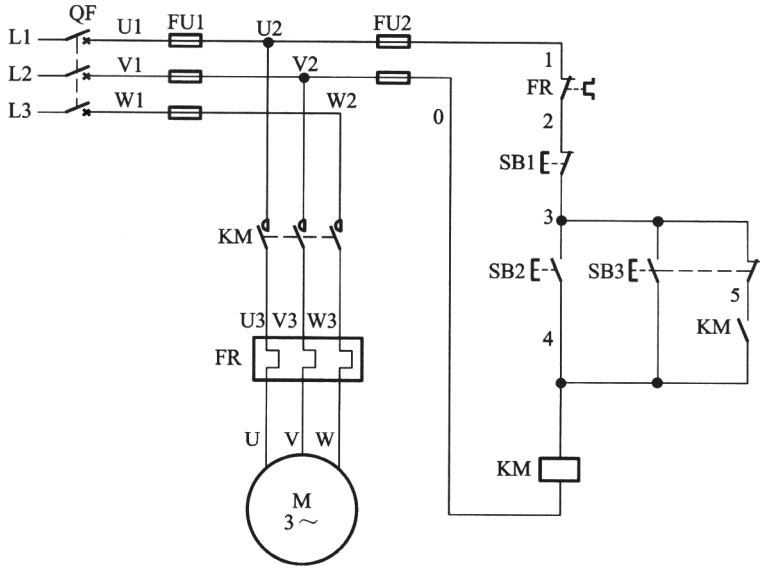


图 1-36　三相交流异步电动机点动与长动混合运行的控制电路

思考练习

1. 低压断路器又称_____或_____。其具有控制作用外，还具有一定_____的功能。

2. 低压断路器的额定电压和额定电流应_____或_____被保护线路的正常工作电压和负载电流。

3. 热继电器是利用_____来切断电路的一种_____电器，它用作电动机的_____保护，不宜作为_____保护。热继电器的整定电流一般情况下取电动机额定电流。

4. 接触器依靠自身辅助动合触点使其线圈保持通电的现象称为_____。

项目测试

一、单选题

1. 刀开关的文字符号是（　　）。

A. SB　　B. QS　　C. FU　　D. SQ

2. 低压断路器的型号为 DZ10-100，其额定电流是（　　）。

A. 10 A　　B. 100 A　　C. 10～100 A　　D. 大于 100 A

3. 交流接触器的作用是（　　）。

A. 频繁通断主电路　　B. 频繁通断控制电路

C. 保护主电路　　D. 保护控制电路

4. 热继电器的整定值为 6.8 A，则动作范围应选用（　　）。

A. 0.4～0.64 A　　B. 0.64～1 A　　C. 4～6.4 A　　D. 6.4～10 A

5. 热继电器中双金属片的弯曲作用是由于双金属片（　　）。

A. 温度效应不同　　B. 强度不同　　C. 膨胀系数不同　　D. 所受压力不同

6. 有型号相同、线圈额定电压均为 380 V 的两只接触器，若串联后接入 380 V 回路，则（　　）。

A. 都不吸合　　B. 有一只吸合　　C. 都吸合　　D. 不能确定

7. 下列电器中不能实现短路保护的是（　　）。

A. 熔断器　　B. 热继电器　　C. 过电流继电器　　D. 空气开关

8. 熔断器的额定电流应（　　）所装熔体的额定电流。

A. 大于　　B. 大于或等于　　C. 小于　　D. 小于或等于

9. 熔座是熔体的保护外壳，用耐热绝缘材料制成，在熔体熔断时兼有（　　）作用。

A. 绝缘　　B. 隔热　　C. 灭弧　　D. 防潮

10. 按复合按钮时，（　　）。

A. 动合触点先闭合　　B. 动断触点先断开

C. 动合、动断触点同时动作　　D. 动断触点动作，动合触点不动作

11. 低压断路器具有（　　）保护。

A. 短路　　B. 过载　　C. 失压、欠压　　D. 以上答案都正确

12. 万能转换开关是（　　）。

A. 主令电器　　B. 开关电器　　C. 继电器　　D. 保护电器

13. 小容量交流接触器一般采用（　　）灭弧装置。

A. 电动力　　B. 磁吹式　　C. 栅片式　　D. 窄缝式

14 下列电器不能用来通断主电路的是（　　）。

A. 接触器　　B. 自动空气开关　　C. 刀开关　　D. 热继电器

二、填空题

1. 常用的低压电器是指工作电压在交流（　　）V 以下、直流（　　）V 以下的电器。

2. 按钮常用于控制电路，（　　）色表示启动，（　　）色表示停止。

3. 热继电器是利用（　　）原理来工作的电器。

4. 热继电器的主要保护作用是电机（　　）保护；熔断器主要作（　　）保护。

5. 交流接触器主要由（　　）、（　　）和（　　）三大部分组成。

6. 低压电器按照职能的不同可分为控制电器和保护电器两类。交流接触器是属于（　　）电器，熔断器属于（　　）电器。

三、判断题（请在括号内打“√”或打“×”）

1. 刀开关安装时，合上开关时手柄在上方。接线时，电源线接在上端，下端接用电器。（　　）

2. 在电动机控制电路中，熔断器在电路中既可作短路保护，又可作过载保护。（　　）

3. 热继电器在电路中既可作短路保护，又可作过载保护。（　　）

4. 继电器在任何电路中均可代替接触器使用。（　　）

5. 线圈额定电压为 110 V 的交流接触器，可接交流 380 V 的电源。（　　）

6. 低压断路器中电磁脱扣器的作用是实现失压保护。（　　）

7. 为了消除衔铁振动，交流接触器装有短路环。（　　）

8. 继电器的触头一般都有常开和常闭触点，没有灭弧装置。（　　）

9. 交流接触器的辅助常开、常闭触点是连接小电流的控制电路中。（　　）



公牛电器诞生的艰辛历程

公牛是我们日常生活中常见的插座品牌，浙江公牛电器成立于 1995 年，创始人是阮立平。公牛电器是中国领先的高端开关插座和转换器专业供应商，在中国市场享有很高的声誉，其生产的产品广泛应用于航空、航天、金融、信息、医疗等行业。

公牛电器的创始人阮立平出生在浙江慈溪古窑，大学毕业后，进入水电部杭州机械研究所工作。10 年的技术研究生涯养成了阮立平工作认真仔细的风格。20 世纪 90 年代初，随着我国改革开放的进一步深入，下海经商成为很多人实现走向富裕梦想的途径，而阮立平也凭借一个契机开始了他的公牛电器王国的建立历程。

20 世纪 80 年代末，浙江慈溪涌现了几百家插座家庭作坊，形成全国有名的插座生产基地。阮立平的很多亲戚朋友都跨入了这一行，他们没有钱投资生产，就拿着别家作坊生产的插座样品到全国各地去推销。

当时慈溪交通不便，要到其他地方，杭州是必经之地，所以阮立平的职工宿舍成了接待弟弟等亲友的中转站，他自己也帮忙推销。阮立平在推销过程中发现这些插座质量实在太差，有的拿来还没卖已经坏掉了，几乎三分之一是坏的，所以作为技术人才的阮立平又多了一项工作——修理插座。家里二楼的房间成了仓库兼维修站，每次从人家那里拿来货，先检查一遍，把坏的修好了再卖。在这个过程中，阮立平对插座的构造原理都非常熟悉了，积累了不少经验，就萌生了自己做产品的念头。

三年后，阮立平回到家乡慈溪，开始自主创业。其公司最初也是家庭作坊式的，爸爸妈妈弟弟外加几个亲戚朋友，而这个最初成立的公司，至今还在慈溪家乡。农村没有工程师和设计师，模具师傅画个草图就生产了，质量差、外观差、价格低，是当时慈溪作坊式插座生产的特点。阮立平从创业之初，就准备反其道而行之。质量、安全，一直是他坚持的原则。最初因为没有钱，他和弟弟合伙批发别人的零配件来做，对零配件质量有一个把关，但还是

不行，后来慢慢转换成完全自己生产销售。等到阮立平亲自设计出第一款产品并投入生产，公牛电器的品牌从此诞生了，那时阮立平喜欢打篮球，1995 年那会儿芝加哥公牛队正是如日中天的时候，所以公牛电器的名字就这么来的。

因为差异化竞争，让公牛电器在国内市场的推广走得颇为顺利，公牛电器以质量和诚信赢得尊敬。阮立平最初的创业梦想已经实现，但是他并没有裹足不前，他想着扩大规模生产，想着做行业的领导者。

为了有效提高销售额，公牛电器与众不同地引进了快速消费品的销售模式，从粗放式转变为精耕细作式，每个五金店都设销售点，用汽车来配送。“牛奶怎么卖，可口可乐怎么卖，我们就怎么卖。”几千辆汽车在那里跑，慢慢积累信息，销售网点铺展到 40 万个。连阮立平自己都惊讶——销售量这么大，这些插座都去哪儿了？

插座行业入行门槛低，撇开粗制滥造不说，这个行业大多数企业都是家庭作坊式，以最简单的加工制造为主。但是公牛电器却特立独行地开创了研发部门，即使仍带着中国民营企业的家族色彩，却率先引进了先进的现代企业管理方式。

说起研发，虽然公牛电器拥有不少专利，但最让阮立平念念不忘的还是他的第一个发明——按钮开关。第一批公牛插座产品是没有开关的，因为市场上买不到可靠的开关，为了质量考虑索性不用开关。后来阮立平自己设计了开关投入生产，公牛的插座才有了开关装置。而直到现在，国内市场上百分之九十的插座上用的开关还是他最早设计的按钮型，简单实用又可靠。

2000 年前后，公牛电器开始关注国外市场，通过与一些一流公司的合作，阮立平学到了不少，第三方对质量的监控，外部力量的推动，让公牛电器不得不做强自己。2003 年，公牛电器从国外买入最先进的实验设备，斥资 1000 万元建成国际最具权威性的安全实验与鉴定机构——美国 UL 国际专业组织认证的高标准实验室。在这个实验室里可以完成防雷测试、升温测试等等。从方案设计到售后服务，公牛电器拥有 190 人的品质管理团队，经过超百道的严苛检测程序。

经过十余年的发展，公牛电器已经成为插座中的领军品牌，在全国 31 个省市设有分公司及办事处，100 多个城市设有代理机构。同时，公牛电器在国外还设有销售和服务代理机构，产品已经进入美国、德国、法国、英国、日本、新加坡、韩国、南非、以色列等 10 多个国家和地区。多年来，公牛电器为消费者提供全面用电保护安全而不断探索创新！公牛电器与时俱进，不断突破，成为家喻户晓的品牌，迈向全球，将不可能变成了可能。

项目二
直流电动机

学习目标

1. 素质目标

（1）培养严谨科学的思维方法和团结求实的工作作风。

（2）培养安全文明、规范操作、环保节能等意识，养成爱护仪器和工具、团结合作、沟通交流的良好的职业道德和职业情操。

2. 知识目标

（1）了解直流电动机的结构。

（2）了解直流电动机的铭牌数据。

（3）理解直流电动机的工作原理。

（4）了解直流电动机的电枢电动势和电磁转矩。

（5）了解直流电动机的励磁方式。

（6）理解直流电动机的运行特性及各类直流电动机的机械特性情况。

（7）熟悉直流电动机的启动、调速、反转和制动的控制原理。

3. 技能目标

（1）能使用电工工具和电工仪表拆装直流电动机。

（2）能分析电动机的换向及改善换向方法。

（3）会利用直流电动机的工作特性和机械特性分析实际问题。

直流电动机是将直流电能转换为机械能的电动机。与交流电动机相比，直流电动机结构复杂、成本高、运行维护较困难。但直流电动机具有良好的调速性能，且启动转矩大、过载能力强，因此在启动和调速要求较高的场合，仍获得了广泛的应用。直流电动机按励磁方式的不同可分为他励式、并励式、串励式和复励式 4 种。

直流电动机是将直流电能转换为机械能的转动装置。直流电动机的定子提供磁场，直流电源向转子绕组提供电流，换向器使转子电流与磁场产生的转矩保持方向不变。

任务一　直流电动机的认识和拆装

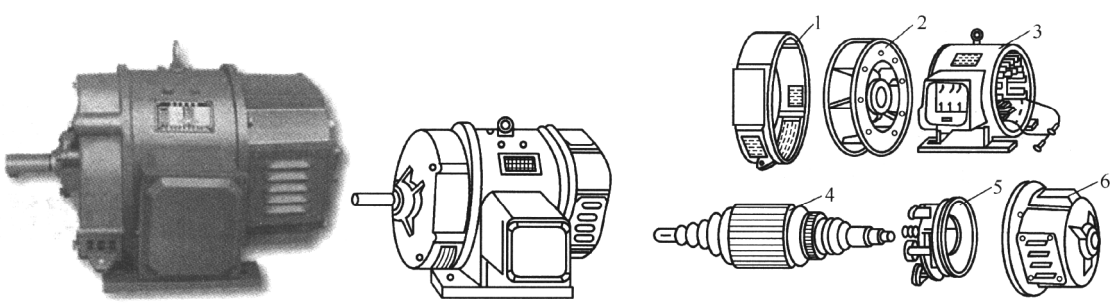
任务要求

完成直流电动机的拆装。

知识链接

一、直流电动机的结构

直流电动机主要由定子、转子两大部分及一些辅件组成。其整体外形和基本结构如图 2-1 所示。



（a）整体外形　　（b）基本结构

1—后端盖；2—通风机；3—定子；4—转子；5—电刷装置；6—前端盖。

图 2-1　直流电动机的整体外形和基本结构

1. 定子

定子是直流电动机的机械支撑且用来产生电动机磁路。定子主要由机座、主磁极、换向极和电刷装置组成。

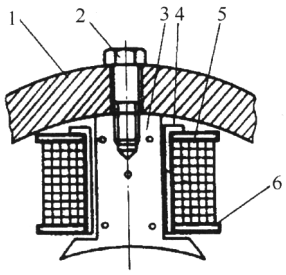
（1）机座。定子中机座起着机械支撑和导磁磁路两个作用。机座既可用来作为安装电动机所有零件的外壳，又是联系各磁极的导磁铁轭。机座通常为铸钢件，也有采用钢板焊接而成的。

（2）主磁极。主磁极是一个电磁铁，如图 2-2 所示，主要由铁芯和线圈两部分组成。主磁极铁芯一般用 1～1.5 mm 厚的薄钢板冲片叠压后再用铆钉铆紧成一个整体。小型直流电动机的主磁极线圈用绝缘铜漆包线（或铝线）绕制而成，大中型直流电动机主磁极线圈用扁铜线绕制，并进行绝缘处理，然后套在主磁极铁芯外面。整个主磁极用螺钉固定在机座内壁。

（3）换向极。换向极又称为附加极，装在两个主磁极之间，用来改善直流电动机的换向。换向极也由铁芯和线圈构成。换向极铁芯大多用整块钢加工而成。但在整流电源供电的功率

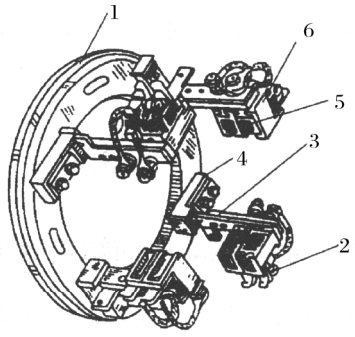
较大的电动机中，为了更好地改善电动机换向，换向极铁芯也采用叠片结构。换向极线圈与主磁极线圈一样，也是用圆铜漆包线或扁铜线绕制而成的，经绝缘处理后套在换向极铁芯上，最后用螺钉将换向极固定在机座内壁。

（4）电刷装置。直流电动机的电刷装置的作用是，通过电刷与换向器表面的滑动接触，把转动的电枢绕组与外电路相连。电刷装置一般由电刷、刷握、刷杆、刷杆座等部分组成。电刷一般用石墨粉压制而成。电刷放在刷握内，用弹簧压紧在换向器上，刷握固定在刷杆上，刷杆装在刷杆座上，构成一个整体部件，如图 2-3 所示。



1—机座；2—螺钉；3—铁芯；4—框架；5—绕组；6—绝缘衬垫。

图 2-2　直流电动机的主磁极



1—刷杆座；2—弹簧；3—刷杆；4—绝缘杆；5—电刷；6—刷握。

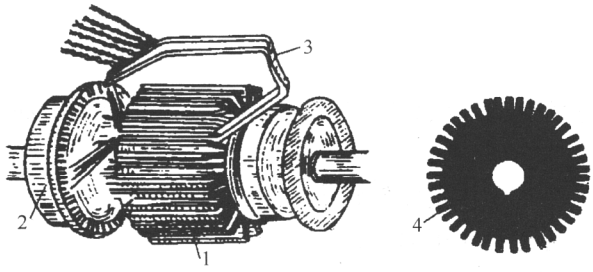
图 2-3　直流电动机的电刷装置

2. 转子

直流电动机的转子通常称为电枢，电枢主要由转轴、电枢铁芯、电枢绕组和换向器等组成。

（1）转轴。转轴的作用是传递转矩，一般用合金钢锻压而成。

（2）电枢铁芯。电枢铁芯是电动机磁路的一部分，也是承受电磁力作用的部件。当电枢在磁场中旋转时，电枢铁芯中将产生涡流和磁滞损耗，为了减小这些损耗的影响，电枢铁芯通常用 0.5 mm 厚的硅钢片叠压制成。电枢铁芯固定在转子支架或转轴上，沿电枢铁芯外圆均匀地分布着很多槽，在槽内嵌放电枢绕组。电枢铁芯及电枢铁芯冲片如图 2-4 所示。



1—电枢铁芯；2—换向器；3—绕组元件；4—电枢铁芯冲片。

图 2-4　电枢铁芯及电枢铁芯冲片

（3）电枢绕组。电枢绕组的作用是产生感应电势和通过电流产生电磁转矩，实现机电能量转换。直流电动机的电枢绕组是直流电动机的主要电路部分。电枢绕组通常采用圆形或矩形截面的导线绕制而成，再按一定规律嵌放在电枢槽内，上、下层之间以及电枢绕组与电枢铁芯之间都要妥善地绝缘。为了防止离心力将绕组甩出槽外，槽口处需用槽楔将绕组压紧，伸出槽外的绕组端接部分用无纬玻璃丝带绑紧。绕组端头则按一定规律嵌放在换向器钢片的