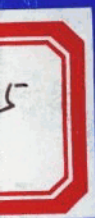


舰艇电气技术

(第一分册)

吴 强 沈建清 编著

海军工程大学



前 言

本书是水面舰艇机电管理专业“舰艇电气工程”课程教材《舰艇电气技术》的第一分册，主要讨论舰艇电气传动控制。根据教学大纲的要求，本书重点介绍了电气传动控制系统中常用的控制电器，各种控制方法，讨论了各种工作机械的工作特性、基本要求、基本原理及其使用。考虑到舰船特种机械如：自动舵、减摇鳍、变距桨等涉及的知识面较宽，将特种机械的工作原理介绍专门作一分册，因此本册将不包括上述内容。

本书的第一章介绍了电气传动的基本概念，发展动态以及舰艇电气传动的现状；第二章介绍了电气传动控制中目前应用最广泛的控制电器；第三章主要介绍了舰船上各种拖曳机械和各种舱室机械的基本原理及其控制系统的功能实现；本书第四章和第五章介绍了电子电器及可编程序控制器，并简要介绍了典型的无触点控制线路和可编程序控制器的应用。

在本书的编写过程中，得到了402教研室和405教研室的大力支持。刘信和副教授对全书进行了仔细的审阅，并提出了许多宝贵的修改意见。

同时，编者还要感谢张晓锋教授、林永辉副教授、陈少昌副教授、沈兵副教授、张辉、向东等对编写工作提出的意见和给予的帮助。

由于编者水平有限，时间仓促，书中出现的错误和不当之处在所难免，恳请广大师生批评指正。

编 者

2000年10月

目 录

前言

第1章. 舰艇电气传动控制概述	1
1.1 电气传动的基本概念	1
1.2 电气传动及其控制系统的发展概况	1
1.2.1 电气传动的拖动方式	1
1.2.2 电气传动的控制系统	2
1.2.3 控制电器	2
1.3 舰艇电气传动控制系统应用概况	2
1.3.1 舰艇电力推进控制系统	3
1.3.2 舰艇辅机电气传动控制系统	3
第2章. 电气传动的继电器—接触器控制	5
2.1 动力线路中常用的电器元件	5
2.1.1 自动空气开关	5
2.1.2 接触器	6
2.1.3 熔断器	18
2.2 控制电路中的常用电器元件	26
2.2.1 电磁式继电器	27
2.2.2 时间继电器	31
2.2.3 热继电器	34
2.2.4 信号继电器	35
2.2.5 其它控制电器	38
2.3 电器的维护保养	41
2.3.1 保持清洁	41
2.3.2 保持干净	41
2.3.3 保持绝缘良好	41
2.3.4 保持电磁机械装置的动作正常	42
2.3.5 保持触头接触良好	42
2.3.6 吸引线圈的检查	42
2.4 电动机的基本控制环节	43
2.4.1 点动和起、停线路	43
2.4.2 可逆线路	43
2.4.3 联锁控制	44
2.4.4 两地控制	44
2.5 交直流电动机启动控制线路举例	45
2.5.1 直流电动机启动控制线路	45
2.5.2 交流电动机启动控制线路	47
2.6 附录(自动控制线路的图示法)	49

2.6.1	控制线路中电器和元件的图形符号和文字符号	49
2.6.2	电气线路图	49
2.6.3	绘制原理图的规则	50
第3章. 舰艇典型继电器—接触器控制线路分析		59
3.1	泵的自动启动线路	59
3.2	空调、制冷装置控制线路	59
3.2.1	装置的组成和工作原理	60
3.2.2	空调、制冷装置的自动化	61
3.2.3	空调、制冷装置的自动化元件	62
3.2.4	制冷装置控制线路实例之一	67
3.2.5	制冷装置控制线路实例之二	68
3.2.6	空调装置控制线路实例	69
3.3	锚机控制线路	72
3.3.1	锚机工作特性及负载阻力特性	73
3.3.2	对锚机电力拖动机械的要求	75
3.3.3	锚机控制线路分析实例之一	75
3.3.4	锚机控制线路分析实例之二	79
3.4	辅助锅炉控制线路	83
3.4.1	辅助锅炉的自动控制	83
3.4.2	锅炉水位的自动控制	84
3.4.3	锅炉燃烧自动控制	84
3.4.4	燃烧时序程序控制系统	85
3.4.5	辅助锅炉控制线路实例之一	88
3.4.6	辅助锅炉控制线路实例之二	90
3.4.7	辅助锅炉控制线路实例之三	95
第4章. 电子电器及舰艇电气传动无触点控制		98
4.1	电子电器的特点及主要技术参数	98
4.1.1	电子电器的特点	98
4.1.2	电子电器的一般构成	98
4.1.3	电子电器的主要技术参数	99
4.1.4	电子电器的抗干扰问题	100
4.2	晶体管时间继电器	103
4.3	固体保护继电器	104
4.3.1	基本组成及功能	104
4.3.2	工作原理	104
4.4	晶闸管开关	105
4.4.1	晶闸管交流开关	106
4.4.2	晶闸管直流开关	110
4.4.3	混合式交流接触器	112
4.5	无触点控制线路分析	113

4.5.1	线路元器件简介	113
4.5.2	线路组成及原理	114
第5章	可编程序控制器及其线路分析	120
5.1	可编程序控制器基本特点	120
5.2	可编程序控制器的硬件结构	120
5.2.1	可编程序控制器的整体结构和工作方式	120
5.2.2	可编程序控制器的中央控制单元	121
5.2.3	可编程序控制器的输入/输出部件	122
5.2.4	可编程序控制器的电源组件	123
5.3	可编程序控制器的软件技术	124
5.3.1	可编程序控制器程序的表达方式	124
5.3.2	可编程序控制器的基本指令	125
5.3.3	编程技巧	129
5.4	可编程序控制器的应用	131
5.4.1	PLC 的选型	131
5.4.2	程序控制系统	132
5.4.3	系统说明	133

第1章 舰艇电气传动控制概述

1.1 电气传动的基本概念

电气传动是指以电动机为原动机驱动工作机械的系统的总称，其目的是将电能转变为机械能，实现工作机械的启动、停止以及速度调节；完成各种工作机械的控制要求，保证系统的正常运行。

在现代工业中，为了实现各种生产工艺过程的要求，电气传动不仅包括驱动工作机械的电动机，而且包括控制电动机的一整套控制系统。电气传动是机械设备中的一部分，它主要包含四个环节：

- (1) 电动机
- (2) 自动控制设备
- (3) 电动机与工作机械之间的传动装置。如减速箱，皮带，联轴节等等。
- (4) 工作机械

电气传动的组成如图。

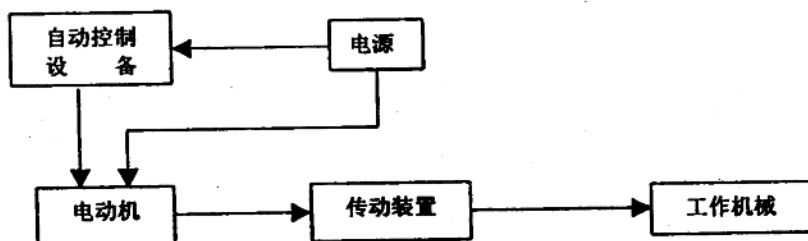


图 1-1-1 电气传动组成示意图

1.2 电气传动及其控制系统的发展概况

1.2.1 电气传动的拖动方式

电气传动及其控制系统总是随着社会生产的发展而发展的。其中电气传动的发展主要经历了成组拖动，单电机拖动和多电机拖动三个阶段：所谓成组拖动，就是由一台电动机通过传动机构同时带动多台工作机械，此种拖动方式生产效率低，可靠性差；所谓单电机拖动，就是由一台电动机拖动一台工作机械，此种拖动方式较第一种方式前进了一步，但当一台工作机械的运动部件较多时，机械传动机构仍然很复杂；所谓多电机拖动，即一台工作机械的每一个运动部件分别由一台专门的电动机拖动，这种拖动方式不仅大大简化了工作机械的传动机构，而且控制灵活，为工作机械的自动化提供了有利的条件，所以现代化的电气传动基本上均采用这种拖动方式。

电气传动所使用的电动机主要包括直流电动机和交流电动机。即电气传动可分为直流拖动方式和交流拖动方式。由于交流电制同直流电制相比，具有很大的优越性，因此现代舰船主要采用交流电制，相应的，其辅机拖动一般采用交流拖动方式。交流电动机与直流电动机相比，具有结构简单，价格便宜，维修方便，惯性小等一系列优点，单机功率及电压等级都可以作得比直流电动机高得多，还可以实现高速拖动，因此交流电气传动应用范围越来越广泛。随着微电子技术和现代控制理论的应用，电气传动正向着计算机控

制生产过程自动化的方向迈进。

1.2.2 电气传动的控制系统

控制系统的发展伴随控制器件的发展而发展，随着功率器件、放大器件的不断更新，电气传动控制系统的发展日新月异，它主要经历了四个阶段：最早的电气传动控制系统出现在 20 世纪初，它仅借助于简单的接触器与继电器等控制电器，实现对控制对象的启动、停车以及有级调速等控制，它的控制速度慢，控制精度差；30 年代出现了电机放大机控制，它使控制系统从断续控制发展到连续控制，连续控制系统可随时检查控制对象的工作状态，并根据输出量与给定量的偏差对控制对象自动进行调整，它的快速性及控制精度都大大超过了最初的断续控制，并简化了控制系统，减少了电路中的触点，提高了可靠性，使生产效率大为提高；40~50 年代出现了磁放大器控制和大功率可控水银整流器控制；时隔不久，于 50 年代末期出现了大功率固体可控整流元件——晶闸管，很快晶闸管控制就取代了水银整流器控制，后又出现了功率晶体管控制，由于晶体管和晶闸管具有效率高、控制特性好、反应快、寿命长、可靠性高、维护容易、体积小、重量轻等优点，它的出现为电气传动自动控制系统开辟了新纪元；随着数控技术的发展，计算机的应用特别是微型计算机的出现和应用，又使控制系统发展到一个新阶段——采样控制，这也是一种断续控制，但是和最初的断续控制不同，它的控制间隔（采样周期）比控制对象的变化周期短得多，因此在客观上完全等效于连续控制，它把晶闸管技术与微电子技术、计算机技术紧密地结合在一起，使晶体管与晶闸管控制具有强大的生命力。

1.2.3 控制电器

电气传动控制系统的控制方法的发展得益于控制电器的发展，目前控制器件大体可分为两类：有触点控制电器和无触点控制电器。有触点控制电器的执行元件主要是触头，即通过触头的通断来接通和断开电路。这种有触点电器在开断电路时，触头间将产生电弧。电弧一方面使电路仍然保持导通状态，延迟了电路的开断，同时会烧坏触头甚至引起电器的爆炸和火灾，因此灭弧问题非常重要。电弧问题的研究在电器领域中形成了一个重要的分支。无触点控制电器是现代电力电子技术应用于电器领域的产物，无触点电器接通和断开电路的任务不再是由触头来执行，而是由控制开关元件输出信号的高低电平来控制，因而免除了电弧的困扰，实现了电路的无电弧通断操作。

无触点控制电器的出现并不意味着有触点控制电器的衰落，事实证明，无触点控制电器不可能完全代替有触点控制电器，它们不应是互相排斥，互相取代，而应是互相结合和相辅相成。同多种学科的发展相似，交叉学科的出现和发展解决了以前单学科所不能解决的实际问题，同样，有触点控制电器和无触点控制电器的结合，将有效地解决两种控制电器所面临的具体问题。例如，用晶闸管与电磁式接触器组成混合式无电弧接触器，即在电磁式接触器的每一个主触头上并联一电子开关。正常运行时，晶闸管中没有电流通过，电流只经过接触器的触头，因此压降小、功耗低，解决了晶闸管电路因长期通电所产生的压降大和温升高问题，利用主触头接通电路，提高了线路的接通能力；在分断时，则依靠晶闸管无触点触发和阻断特性，实现了电路的无电弧通断，这是一种新型的电器。实验结果表明，这种新型的控制电器的电气寿命在重负荷任务下可达几百万次（一般有触点控制电器为 100 多万次）。目前有触点控制电器和无触点控制电器均处在不断的发展中。

1.3 舰艇电气传动控制系统应用概况

目前舰艇上的电气传动控制系统主要采用经典的有触点控制电器，即接触器、继电器，其控制方式为典型的断续控制。在水面舰艇上主要采用交流电动机作为驱动电机；在潜艇上大部分驱动电机采用直流电动机，这主要是因为潜艇在水下航行时，其主要的动力来源

是蓄电池。随着现代电力电子技术在电器领域的发展,出现了无触点电器,又称电子电器,使传统的控制方式发生了变化,即出现了无触点控制方式,这种控制方式在某新型潜艇上的直流电气传动控制系统中得到了应用。舰艇电气传动控制系统主要包括两大部分,即舰艇电力推进控制系统和舰艇辅机电气传动控制系统。

1.3.1 舰艇电力推进控制系统

1.3.1.1 舰艇电力推进控制系统现状

舰艇电力推进装置是指采用电动机带动螺旋桨来推动舰艇运动的装置。目前,电力推进装置主要应用于以下几种类型的舰艇:

(1) 作为常规动力潜艇的主动力装置和核动力潜艇的应急动力装置;

(2) 与其他动力装置(燃气轮机、柴油机等)一起组成联合动力装置用于以反潜及巡逻为主要任务的护卫舰上。

(3) 用于需要有特殊工作性能或具有大容量辅机的辅助舰船上。

舰艇电力推进装置一般由以下几个部分组成:螺旋桨、电动机、发电机、原动机以及控制调节设备。目前,大多数常规潜艇采用电传动型电力推进装置。电力推进各组成部分的现状大致可归纳如下:

(1) 电力推进中发电机的原动机一般采用高速或中速柴油机,大功率时多采用汽轮机或燃气轮机。

(2) 发电机采用直流他励或差复励电机、交流整流同步发电机或交流同步发电机,目前潜艇上主要采用交流整流同步发电机。

(3) 推进电动机采用直流他励双枢双换向器电动机或交流同步电动机、异步电动机。目前,主要采用直流他励双枢双换向器电动机。

(4) 潜艇蓄电池仍采用大功率铅蓄电池。

(5) 推进电动机的励磁电路广泛采用励磁斩波器以调整电动机的转速。

(6) 整个电力推进的调节控制电路广泛采用集成电路电子调节器和集成电路逻辑组件,实现隔舱遥控和集中控制。

1.3.1.2 舰艇电力推进装置的发展动态

随着科学技术的发展,舰艇电力推进装置的发展动态大致可分为以下几点:

(1) 以交流电力推进取代直流电力推进和交直流电力推进。

(2) 采用计算机来提高电力推进装置的自动化程度。

(3) 发展超导电力推进。

(4) 以燃料电池代替现有的潜艇铅蓄电池,发展燃料电池电力推进系统。

交流电力推进装置具有极限功率大、效率高和可靠性好等优点,但是,传统的交流电力推进不能很好的解决推进电机的调速问题,因此限制了它的应用。随着电力电子技术,特别是晶闸管、电力晶体管的成熟应用,为解决交流推进电机的调速问题创造了条件。根据推进电机的类型,交流电力推进可分为异步电动机和同步电动机交流推进装置;而根据电流变换器的结构不同,又可分为晶闸管变频交流电力推进装置、电力晶体管和可关断晶闸管交流电力推进装置等。随着时代的发展,全电力推进将逐步应用于大型水面舰艇。

1.3.2 舰艇辅机电气传动控制系统

舰艇辅机电气传动控制系统主要包括以下几种类型的机械的电气传动控制系统:甲板机械、舱室机械等。

1.3.2.1 甲板机械

甲板机械主要包括舵机、减摇鳍、锚机、绞缆机、吊艇机、扬弹机等等。

锚机主要分为交流锚机和直流锚机。交流锚机一般采用双速异步电动机和三速异步电动机。其控制方式主要采用接触器—继电器控制方式，属于典型的有触点控制方式，该控制系统简单、可靠、维修方便。其调速方法采用改变磁极对数的方法进行，属于典型的断续有级调速。此种调速方法简单、可靠，但是不够经济，对于舰艇电网有限的功率而言，是一个比较大的负担；同时使电动机的功率没有得到充分利用。

直流锚机目前主要采用改变电枢回路电阻的方法进行多级速度调节，其控制方式采用典型的接触器—继电器控制方式，属于典型的断续有级控制。其优缺点同交流锚机。

绞缆机的控制装置与锚机的控制装置基本相同。

吊艇机的控制装置比较简单，其控制要求是能够保障其具有简单的匀速功能。

1.3.2.2 舱室机械

舰艇舱室机械主要包括：辅助锅炉、制冷装置、空调、油水分离器以及各种泵，例如海水泵、淡水泵、油泵、风机等。

辅助锅炉自动控制装置主要分为直流和交流两种。其控制方式采用典型的接触器—继电器控制方式，其控制原理主要通过各种继电器来控制水泵、风机、油泵的适时起停来完成辅助锅炉的各种功能。其控制线路中采用的中间继电器比较多，主要用来完成燃烧程序的控制。该线路可靠性相对较差。可编程序控制器具有强大的逻辑功能，精确的延时，通用性强，外围线路简单可靠，输出具有一定的驱动能力，可直接驱动接触器或采用无触点控制器（可控硅）。因此可以考虑采用可编程序控制器来实现辅助锅炉的控制功能。

制冷装置、空调等的控制装置原理基本相同，主要是根据温度、压力等各参数来控制压缩机的适时起停以及各种故障保护。其控制线路均比较简单。

舰艇上使用着各种用途的泵，根据其服务的对象不同可分为两大类。一类是服务于舰船动力装置的泵，由于舰船对其的功能要求比较多，其控制线路相对比较复杂。另一类是服务于舰船系统的泵，由于舰船对其的功能要求比较少，其控制线路一般比较简单。

第2章 电气传动的继电器—接触器控制

继电器——接触器控制系统是最简单、最基本的电气传动自动控制装置。它通常用来完成电动机的自动启动、制动、调速、反转以及保护等控制。使用该控制系统不仅可以实现控制过程的自动化，还可以实现集中控制和远距离控制。当前大多数舰船上的甲板机械和舱室机械都采用这种控制系统。即使在将来高度自动化之后，继电器——接触器控制系统仍将在舰船机械的电力拖动中占有一定的地位。

一般来说，一个电力拖动系统可以分成两大部份：一部份是用来开断、接通和控制电动机运转状态的电路系统，叫做主电路系统或主电路。由于它担负着较大的能量传输任务，所以又叫做动力线路；另一部份是根据给定的指令，依照自动控制的规律和具体工艺要求对主电路系统进行控制的电路系统，叫做控制电路系统或控制线路。由于动力线路和控制线路传送的能量大小和执行的职能不同，对电器元件的要求也不相同。为使读者有个比较明确的概念，在此将控制电器按使用于动力线路和使用于控制线路分开讨论。

2.1 动力线路中常用的电器元件

动力线路常用的电器元件主要有自动空气开关、接触器和熔断器等等。

2.1.1 自动空气开关

空气自动开关主要用在低压动力线路中，它能手动或自动接通动力电源，并且除了能手动断开动力电源外，还能自动地切断短路、过载和欠压故障，对系统起保护作用，所以自动空气开关是一般低压控制系统中用得比较多的电器元件。

自动空气开关不能连续频繁地进行通断操作，另外，为了能迅速切断短路电流，它必须具有强大的熄灭电弧的能力和开断机构。自动空气开关配置了某些附件后，还可以扩展其职能范围，这些附件是欠压脱扣器、分励脱扣器、辅助触头和电动操作机构等。

欠压脱扣器用在那些对电压值要求较高的系统中，当电源电压低于某一数值时，欠压脱扣器将使自动空气开关断开，切断电源。

分励脱扣器用于实现远距离控制自动空气开关，切断电源。

辅助触头用于自动空气开关的控制和讯号的传送。

电动操作机构用于对自动空气开关进行远距离操作。

2.1.1.1 自动空气开关的工作原理

我们利用图 1-2-1 所示的结构图来说明自动空气开关的工作原理。

自动空气开关手动合闸以后，动静触头闭合，脱扣连杆 9 为锁钩 7 钩住，它又将合闸连杆 5 钩住，使触头保持在闭合状态。发热元件 14 与主电路串联，当有电流流过时，它产生热量使由双金属片做成的脱扣器的下端向左弯曲，在发生过载时，脱扣器 6 弯曲到将脱扣锁钩推离脱扣连杆，进而松开合闸连杆，动静触头受弹簧 3 作用而迅速分开，切断电源。

电磁脱扣器 8 有一个匝数很少的线圈与主电路串联，发生短路时，它使铁芯对脱扣锁钩上部的吸引力大于弹簧 13 的拉力，于是脱扣锁钩向左转动，使动静触头分开，切断电源。

调整热脱扣器双金属片的弯曲程度或电磁脱扣器铁芯与脱扣机构之间的气隙大小均可以对脱扣电流值进行整定。热脱扣器用于主电路的过载保护；电磁脱扣器用于主电路的短路故障保护。

当自动空气开关由于过载保护而断开后，应等待 2~3min 才能重新合闸，以便热脱扣器回复原位。

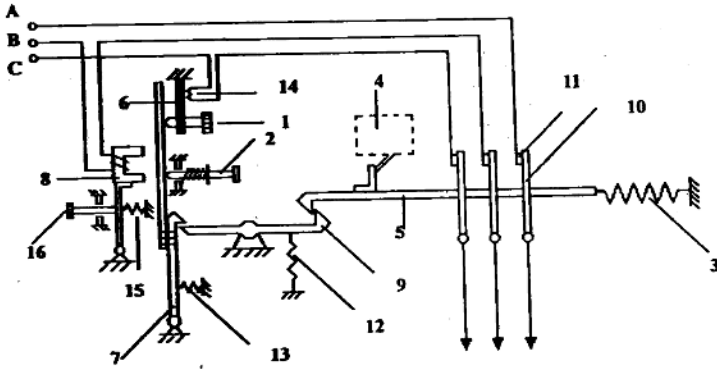


图 1-2-1 自动空气开关结构示意图

- 1—热脱扣器整定旋钮；2—手动脱扣按钮；3—脱扣弹簧；
4—手动合闸按钮；5—合闸连杆；6—热脱扣器；7—脱扣锁钩；
8—电磁脱扣器；9—脱扣连杆；10、11—动、静触头；
12、13—弹簧；14—发热元件；15—电磁脱扣弹簧；16—调节旋钮

自动空气开关的主触头由耐电弧合金制成，采用灭弧栅片加灭弧罩的混合方式熄灭电弧。电弧的机制及灭弧原理、方法、装置等将在后面详细论述。

自动空气开关的主要性能参数有主触头额定电流、热脱扣器额定电流和整定范围以及电磁脱扣器的整定范围等。

目前我国舰艇上采用的自动空气开关主要有 DZ、DW 和 AH 系列等类型，DZ 为塑壳式（装置式）自动开关，DW 为框架式（万能式）自动开关，AH 系列为带半导体脱扣器的空气自动开关。在舰船上的配电装置中一般采用装置式自动空气开关，较常用的有 DZ91 和 DZ910 系列。

在电气传动控制系统中主要采用装置式空气自动开关。

2.1.1.2 自动空气开关的性能参数及其使用注意事项

自动空气开关的主要性能参数包括：

- (1) 主触头额定电流；
- (2) 热脱扣器额定电流；
- (3) 热脱扣器整定范围；
- (4) 电磁脱扣器的整定范围。

选择一种电器，实际上就是选择其应有的额定参数和结构型式。对于自动空气开关应根据被控制的电器设备的额定电流来选择空气开关的额定电流，理想的情况是使两者的额定电流相等。如果没有该等级的空气开关，则可以选择额定电流最接近而又大于该电器设备的额定电流的自动空气开关。自动空气开关的额定电压应等于所用电源的额定电压。

自动空气开关投入使用前应先将其热脱扣器和电磁脱扣器的动作电流值调整到某一需要的确定值，并维持不变，即进行参数整定。在安装自动空气开关时应注意将来自电源的母线连到开关灭弧罩一侧的端子上，来自电器设备的母线连到另一侧的端子上。在正常情况下每六个月应对开关检修一次，清除灰尘。在发生开断短路故障的动作后，应立即对触头进行清理，检查有无熔坏和金属熔粒、粉尘等，特别是要把散落在绝缘上的金属粉尘除尽。

2.1.2 接触器

接触器是一种用来频繁通断主电路和大容量控制电路的电器，广泛地用于控制电动机和其它电力负载，具有低压释放的保护功能、工作可靠、寿命长（机械寿命达 2000 万次，电气寿命 200 万次）和体积小等优点。接触器的种类很多，按工作原理可分为电磁式、气动式和液压式。下面主要介绍电磁式接触器。

电磁式接触器是一种利用电磁铁对铁磁物质的吸引现象来带动触头动作以通断电路的自动化电器。按照控制主电路的电源种类可分为交流接触器和直流接触器两种：激磁线圈为直流，主触头用来控制直流电路通断的为直流接触器；激磁线圈为交流，主触头用来控制交流电路通断的为交流接触器。此外还有激磁线圈为直流，主触头控制交流电路的交流接触器。按照激磁线圈的接法不同，可分为并激式和串激式两种。并激式接触器的激磁线圈与电网并联；串激式接触器的激磁线圈在电网中与负载串联，一般并激式接触器应用最广。

接触器有主触头和辅助触头。主触头用来通断主电路，辅助触头用来通断小电流的控制电路。主触头的路数称为级数。根据级数的不同可分为单级接触器和多级接触器。直流接触器一般分为单级和双级；交流接触器一般为三级；四级、五级接触器用于多速电动机控制。

2.1.2.1 接触器的基本结构及基本工作原理

2.1.2.1.1 接触器的基本结构

现以小容量直动式交流接触器为例来分析接触器的基本结构和基本原理。交流接触器的基本结构如图 1-2-2 所示，其主要组成部分包括：

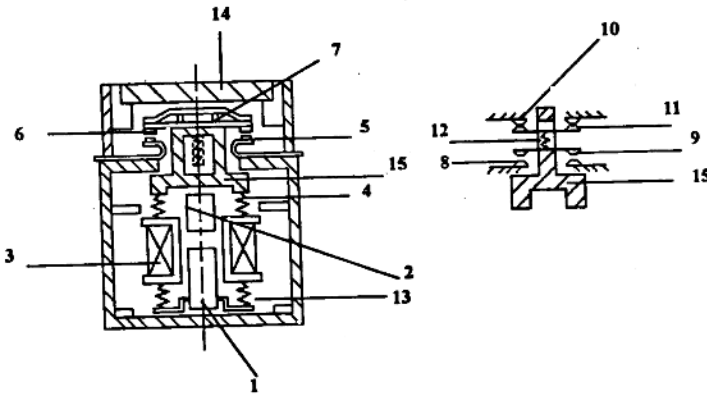


图 1-2-2 直动式交流接触器结构示意图

(1) 主触头和灭弧系统

包括静触头 5、动触头 6、触头弹簧 7 及灭弧罩 14 等组成，用于接通、切断三相交流主电路，有三对主触头。

(2) 辅助触头

辅助触头实际布置在三对主触头的两旁，由常开辅助触头 8、9 和常闭辅助触头 10、11 组成。其中 8、10 为静触头，9、11 为动触头，用于控制电路，通过的电流较小，一般不带灭弧装置。

(3) 电磁系统

由静铁芯 1、动铁芯 2（衔铁）和激磁线圈 3 组成，用于产生电磁吸力使接触器吸合。

(4) 反作用力机构

主要由反力弹簧 4、触头弹簧 7、辅助触头弹簧 12 和可动部分重力与摩擦力等组成，产生机械反力，当激磁线圈断电时，使接触器打开而复位。

(5) 缓冲弹簧

如图 1-2-2 中 13（或硅橡胶）所示，可以减少开合过程中动静铁芯之间的碰撞、触头振动，提高寿命。

2.1.2.1.2 接触器的基本原理

当电磁系统的线圈 3 通电而激磁时，动铁芯 2 受到吸力，它克服机械反力被吸向静铁芯 1，并通过动支架使动触头 6 与静触头 5 闭合，同时也带动两侧的辅助触头动作，使常开辅助触头 8、9 闭合，常闭辅助触头 10、11 打开，此时反力弹簧 4 和触头弹簧 7 均被压缩，将电磁能量储存起来，为开断作准备。线圈 3 断电后，在反作用系统 4、7 的作用下，动铁芯 2 被释放而复位，触头 5 与 6 断开，触头在分断时产生的电弧被引入灭弧罩 14 内熄灭。为了提高接触器的寿命，减少关合过程中的碰撞、振动，电磁系统需要加装缓冲装置，以吸收多余的动能。如图 1-2-2 所示，静铁芯 1 并没有固死，而是由缓冲弹簧 13 支持在底板上，在线圈通电衔铁被吸合的过程中，当电磁吸力大于或等于缓冲弹簧的反力时，静铁芯不再静止，而是克服缓冲弹簧的反力被“拉出”迎接动铁芯的到来——这便是“迎击式”缓冲装置名称的由来。直到衔铁与静铁芯闭合，电磁吸力被视为内力将动静铁芯吸合成一体，此时，由于缓冲弹簧力大于电磁系统的反力，于是，在缓冲弹簧的作用下，一起被拉回原位。

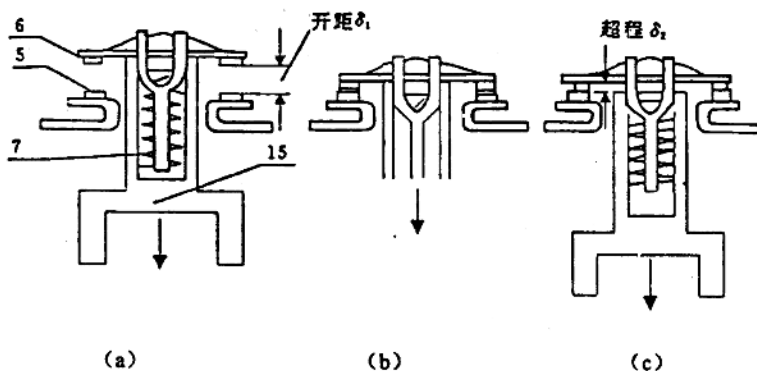


图 1-2-3 桥式触头的开合过程

根据上述原理，进一步来分析在衔铁运动过程中，主触头的闭合过程。以上述双断点直动式结构为例，电磁系统与触头系统通过动支架连在一起作直线运动，主触头为常开桥式触头。辅助触头为常开和常闭桥式触头各几对。图 1-2-3 表示主触头在关合过程中的三个位置：(a) 触头在开断位置；(b) 动、静触头开始接触位置；(c) 触头最终接触位置，箭头表示衔铁通过动支架 15 带动动触头运动的方向向下。当接触器未动作时，在触头弹簧 7 的作用下，动支架 15 与动触桥紧紧被压住，其间没有间隙，此时，动、静触头的位置如图 1-2-3 (a) 所示，动、静触头之间的距离 δ_1 称为触头的开距。动、静触头刚接触时，触头的压力称为初压力，当线圈通电后，在电磁吸力作用下，衔铁首先克服反力弹簧的反力，借动支架带动动触头向下运动。在衔铁尚未到达最终位置（衔铁与静铁芯接触位置）之前，动、静触头开始接触，如图 1-2-3 (b) 所示，这时动触桥与动支架仍被触

头弹簧 7 压紧。由于静触头固定，阻止动触头及触桥使之不能继续向下运动，此时衔铁尚未到达静铁芯处，需要进一步克服触头弹簧的反力才能继续前进。当衔铁带动支架继续向下运动时，主触头弹簧 7 进一步被压缩，直到衔铁与静铁芯完全闭合为止，触头最终接触位置如图 1-2-3 (c) 所示。此时，在动触桥与动支架之间便显露出一个间隙 δ_2 ，这个间隙称为触头的超程。触头最终接触位置的触头压力称为终压力。

通过上述关合过程的分析，可以找出触头的四个主要参数：

触头开距 δ_1 是衔铁未动作时动静触头间的距离，用以保证触头断开后必要的安全绝缘间隙。

触头超程 δ_2 是从动、静触头开始接触，至衔铁完全闭合为止衔铁所走的距离，或者说触头弹簧被进一步压缩的距离，常用动触桥与动支架之间显露的间隙来表示。它是用以保证触头电侵蚀以后仍能可靠地接触，即保证触头压力的最小值。

触头初压力 F_1 是动、静触头开始接触时触头间的压力。初压力用以降低触头闭合过程中的弹跳。触头终压力 F_2 是衔铁完全闭合后，动、静触头之间的压力。由于触头从起始接触位置到最终位置，触头弹簧不断受到压缩，终压力恒大于初压力。终压力应使触头在闭合状态时的接触电阻小且稳定。

2.1.2.2 接触器的触头系统及灭弧系统

接触器的任务是用来接通与开断负载电路，触头与灭弧系统是接触器的重要组成部分，触头是接触器的执行机构。触头有四种工作状态，开断状态、闭合状态、闭合过程、开断过程。触头在开断过程中将产生电弧，必须具有足够的开距及爬电距离，以便于可靠地熄弧，但过大的开距将增加电磁系统的负担。触头在闭合状态下，触头及导电回路必须具有足够的电动稳定性和热稳走性。触头在闭合过程中，由于触头系统具有一定的质量和闭合速度，将产生触头间的碰撞和振动，如果电路的电压较高，当触头间隙减小至碰撞前被击穿，触头的振动会引起触头间的连续短弧。由于电弧的高温作用，将引起触头的熔焊与电侵蚀。电弧会烧坏绝缘，甚至造成电源短路等事故。

2.1.2.2.1 触头的接触形式及接触电阻

触头的接触电阻主要包括两个部分：收缩电阻和膜电阻。在两个导体或两个触头的接触面表面，即使加工再精细，其接触面也不可能完全接触，实际接触的往往只是若干个点。在接触点附近，电流线剧烈收缩，电流只能从这些接触点上流过，由于接触面积小于视在面积，致使触头存在一定的收缩电阻；同时，触点表面存在一些导电性能很差的物质，致使接触面存在膜电阻。为保证触头长期工作的可靠性，希望得到低值而稳定的接触电阻。影响接触电阻的因素主要有接触形式、压力、温度、触头表面状况以及触头材料等，现分述于下。

(1) 接触形式

触头的接触几何形状可分为点接触、线接触和面接触三种形式。接触形式对接触电阻的影响，视接触压力的大小而异，当接触压力较小时，面接触的接触电阻反而比点、线接触为大。继电器触头压力小，多采用点接触形式，而且对触头的曲率半径有要求，以保证必要的压强，最大限度地破坏和清除膜电阻的影响。一般说来，点接触虽然膜电阻小，但触头的散热面积及热容量均小，所以多用于小电流。线接触的压力集中，实际接触压力的强度较大，在中等压力时，接触电阻较小，广泛用于中等容量的接触器及自动开关中。线接触的优点还表现在便于调整使之接触良好，并且还可以使触头在闭合过程中有相对运动而自动净化其触头表面。大容量的触头系统，大都采用面接触，使之有足够大的导电面积，当然也需要施加足够大的触头压力。

(2) 触头的压力

触头的压力是影响接触电阻的最重要的因素。当视在面积一定时，压力越大，有效接

触面积增加,使收缩电阻和膜电阻都减小,因此接触电阻变小。在压力较小时,接触电阻受压力变化的影响较大。当压力增加至一定限度后,接触电阻受压力变化的影响甚微。

(3) 触头的表面状况

触头表面状况对接触电阻的影响很大,特别是触头表面的氧化,因为许多导体的氧化物本身并不导电,这种氧化物在接触表面出现,就引起接触电阻的剧烈增加。为了防止触头表面的氧化或者减少其它影响,通常采用下列方法,(a)增加触头压力,使接触面间的氧化膜被压碎;(b)使动、静触头在闭合过程中有相对滑动,以清除氧化膜,例如单断点转动式接触器;(c)在触头表面加覆盖层,如镉、锡、锌、银等。例如铜触头镀银,铝接触面搪锡等。银的氧化膜导电性能与纯银相近,锌氧化膜有自动裂开的性能。锡对大气的影晌很稳定。镉对硫化气体和氯的作用十分稳定。

触头表面的光洁度对接触电阻也有较大的影响。对于大、中电流的触头表面,一般不要求精加工,重要的是平整,两个平整而较粗糙的平面接触在一起,接触点数目较多,且能有效的清除氧化膜。相反,精加工的表面,当装配稍有歪斜时,接触点显著减少。对于某些小功率继电器,触头电流小到毫安以下,在这种情况下,为保证接触电阻值小而稳定,要求触头光洁度高。光洁度高的触头不易受到污染,也不易生成膜电阻。为了达到较高的光洁度,往往采用机械、电或化学抛光工艺。

(4) 触头的温度

触头的温度升高后,金属的电阻率有所增大,但材料硬度有所降低,使有效接触面积增大。前者使接触电阻增加,后者使接触电阻减小,两者相补,所以接触电阻变化不大,但当触头电流长期超过额定值时,温度升高,引起接触表面氧化,于是接触电阻急剧上升,发热更甚,形成恶性循环。为了使接触电阻小且保持稳定,长期工作时触头的允许温升不得超过国家标准规定的数值。

(5) 触头材料

对触头材料的要求是接触电阻小、触头温升低,抗熔焊性好以及耐电侵蚀能力强,有利于正常接通电路和提高电器的开断容量。触头材料的电阻系数越大,其接触电阻也越大。抗压强度越小,实际接触面积越大,接触电阻也就越小。因此在接触连接处,常用较软的金属覆盖在硬金属上,例如铜触头搪锡等,银的电阻率小于铜,但银比铜贵,所以常采用铜镀银或镀锡的办法,铝在常温下几秒钟内就氧化,其氧化膜电阻甚大。铝一般只用作固定连接,并采用表面覆盖银、铜、锡等方法以减少接触电阻。金、铂、铱等化学性质稳定,导电性能好,但价格昂贵,一般只用于小型继电器的弱电流触头。

2.1.2.2.2 电弧的产生与熄灭

在电焊中可以看到,当焊条从钢板上拉开时,在拉开的间隙中会产生电弧。此时电焊机中有电流流过,说明电弧是电流在空气中流通的途径,即电路仍然是通路的。由于电弧的燃烧产生高温,焊条熔化,把钢板焊接起来。如果把焊条提高,电弧变小,提高到一定距离,电弧便自动熄灭。由此可知,电弧的产生要具备一定的条件,即电路断开的两端(电弧两端)存在一定的电压值。电弧发生后,要维持燃烧,需要相当粗细的电弧,即要保持一定数量的电流流通,否则,电弧就要熄灭。电弧两端的电压和电流,实质上反映了电弧中存在的电阻大小的问题。

在大气中开断电路时,如果电源电压超过10~20V,被开断的电流超过0.25~1A,触头间隙便产生电弧。电弧可视为一种导电气体,它具有温度高,发光强的性质,被广泛用于焊接、冶炼、强光源等各个技术领域。电弧现象在触头断开时同样会存在。对电器而言,当触头间产生电弧时,一方面使电器仍保持导通状态,延迟了电路的开断,另一方面将烧坏触头,并危及绝缘,在最严重的情况下,甚至引起电器爆炸与火灾。因此,接触器中通过大电流的触头一般都要安装灭弧装置来使电弧迅速熄灭。通交流电和通直流电的触头在

断开时产生的电弧（火花）具有不同的特点，故采用的熄弧措施是不同的。

电弧实际上是气体放电的一种形式。气体通常是不导电的，但在电场、高温等因素的作用下，气体被游离而产生带电粒子——电子、正离子和负离子，气体便能导电。产生游离的原因有高电场发射电子、阴极发射电子、碰撞游离和热游离。

(1) 高电场发射

触头刚分开时，触头之间的距离很小，线路电压在这很小的空隙内形成很高的电场强度，触头表面势垒厚度减少，自由电子可能在常温下穿过势垒从阴极表面逸出，这种因高电场产生的电子发射称为高电场发射。因为这种发射不需要热作用参与，所以也叫冷阴极发射。电场强度越大，高电场发射的电流密度越大，并且还和金属材料的性质有关，材料的逸出功越小，高电场发射的电流密度越大。

(2) 热发射

当触头表面温度很高时（2000~2500K），金属表面的自由电子便获得足够的动能而逸出金属。这种因高温而产生的电子发射称为热发射。阴极温度越高，热发射的电流密度越大。反之，当阴极温度越低时，热发射电流密度也越小，当温度太低时，不产生热发射。热发射也与金属材料有关，对逸出功越小的材料，热发射的电流密度也越大。

(3) 光发射

当红外线、紫外线以及其它射线照到金属表面时，引起电子从金属表面逸出，这个过程叫光发射。光波越短，光发射的能力越强。

(4) 二次发射

当正离子在电场作用下以很高的速度撞击阴极，或者电子以高速度撞击阳极时，也可能使金属电极表面发射电子，此过程叫二次发射。在气压较高的放电间隙中，通常阴极表面附近电场强度较高，所以阴极表面二次发射较强，并在气体放电过程中起重要作用。

(5) 碰撞游离

由阴极发射出来的电子，在触头电场的作用下获得能量而加速前进，碰撞到另一中性气体分子时，如果动能大于中性分子的游离能，则电子的动能可能传给中性分子的外层电子，使它脱离原子核的引力范围成为自由电子，这种现象叫碰撞游离。如果电子获得的能量不够大，在碰撞中性分子时，使分子内能增加，它经过第二次甚至更多次的碰撞才能使中性分子游离，这种过程称为累积游离，碰撞游离的过程在许多情况下是累积游离的过程。在引起碰撞游离的几种带电粒子中，电子具有最主要的作用，这是因为电子的体积小，质量轻，当自由行程较长时，就容易加速而积累足够的动能。这种碰撞游离是由于电场的作用而产生的，所以也称为电场游离。电场强度越大，电子运动的速度也越大，获得动能越大，碰撞游离的作用也越强。

(6) 热游离

当气体温度达到 3000~4000K 以上时，气体中的中性原子或分子由于高速的热运动而互相碰撞，产生显著的热游离。相同的温度下，由于金属蒸气的游离电位小于一般气体的游离电位，所以金属蒸气更容易产生热游离。热游离实质上也是碰撞游离，只不过游离的原因是由高温引起，所以温度越高，热游离作用越强。电弧燃烧时，温度可高达 5000K 以上，触头材料蒸发为蒸气，热游离作用甚为显著。

(7) 光游离

中性粒子受到光的照射，当光子的能过大于气体原子或分子的游离能时，在空间就产生光游离，光的频率越高（即波长越短），其游离作用越强。所以，X 射线、 α 、 β 、 γ 射线和宇宙射线比紫外线有较强的游离作用，而可见光几乎不能引起气体游离。

在触头分断的过程中，由于阴极不断发射电子，游离不断加剧，带电粒子越来越多，终于使触头间的气隙由绝缘变成了导电状态，产生了电弧。游离气体中带电粒子失去电荷变成中性粒子的现象，叫做消游离，实际上，在电弧燃烧、游离产生的同时，消游离的过

程也同时存在。消游离的过程通过复合与扩散两种方式完成。

◇ **复合** 两个带有异性电荷的粒子相遇后，互相吸引而消失电荷，形成中性粒子的现象复合，有表面复合和空间复合两种。表面复合是指带电粒子在固体表面结合成中性粒子。例如电弧与金属栅片相接触，接近栅片的带电粒子在金属表面感应出异性电荷，由于库仑吸力的作用，此带电粒子被吸引在栅片表面，如果附近再有带相反电荷的粒子，则此正、负粒子互相吸引而复合。在绝缘材料表面，由于绝缘体被带电粒子感应极化后，能吸引异性带电粒子，因而也会产生类似金属表面的复合过程。空间复合是带电粒子在放电间隙（极间空间）复合的现象。正离子与电子相遇，可直接结合成中性粒子，称为直接复合；电子粘附在中性粒子上，再与正离子相遇而复合，形成两个中性粒子，叫间接复合。由于电子运动速度很大，直接复合很困难，所以间接空间复合的机率比直接复合机率大得多。复合过程受温度、气体种类和压力等因素的影响。温度高时，带电粒子运动速度大，复合的机会小。反之，温度低时，带电粒子运动速度也低，复合的机会也大，因此，人为地降低电弧温度，有效地增强复合过程，有助于电弧的熄灭，在一定的压力范围内，当气压增高，气体密度增大，离子相遇的机会增多，也会增强气体的复合过程。

◇ **扩散** 电弧表面的带电粒子由浓度高处向浓度低处运动，这种过程称为扩散。由于电弧是一个高温且离子高度密集的空间，电弧中的带电粒子会向周围的介质不断扩散出去。扩散出来的离子和电子，因冷却而相互结合成为中性分子。这种过程在电弧周围的介质中进行。由此，电弧温度对扩散作用的影响很大，周围介质的温度越高，扩散作用越强。向电弧空间强迫注入大量新鲜空气，或利于磁场力的作用使电弧在空气中迅速运动，将使扩散作用强烈。

灭弧装置的作用，实质上就是利用各种原理，加速电弧中带电粒子的复合与扩散，使电弧迅速冷却而熄灭。电弧熄灭后，触头间的气体便由导电状态转化为绝缘状态，即介质得到恢复。

2.1.2.2.3 常用的几种灭弧装置

由于交流电弧电流过零时，触头间隙的介质强度能迅速恢复，当电压为 220V 及 380V，开断电流较小时，可以利用双断点来提高介质恢复强度，不需外加灭弧装置。当开断电流较大时，为减小电弧对触头的电侵蚀及限制电弧的扩展空间，需采用灭弧装置。常用的几种灭弧装置的工作原理如下。

(1) 利用导电回路磁场产生电动力拉长电弧

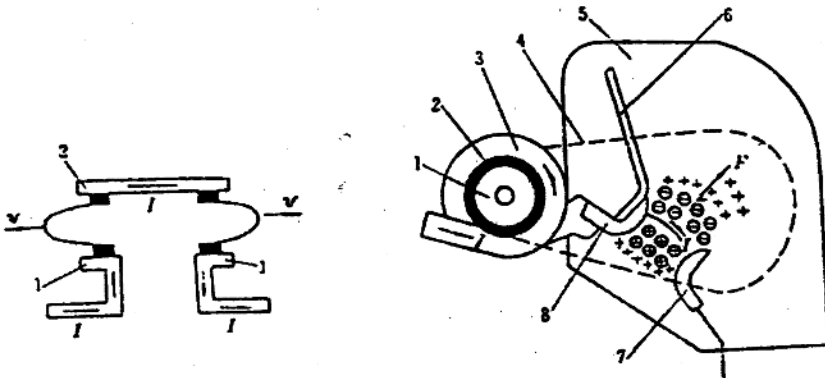


图 1-2-4 接触器触头及导电回路

图 1-2-5 磁吹灭弧装置

图 1-2-4 表示某交流接触器中触头及导体的导电回路，当动触头 2 向上运动与静触