

交通系统中等专业学校试用教材

港口电气设备

(港电专业用)

上海港湾学校
港口电气化教研组编

人民交通出版社

V655.3

9600011

~~93-3813~~

交通系统中等专业学校试用教材

港口电气设备

(港电专业用)

上海港湾学校

港口电气化教研组编

内 容 提 要

本书内容共分两篇。第一篇为交、直流电动机继电—接触控制的基本原理和基本线路,包括电动机的控制原则、电动机的保护、电动机的起动、制动及调速电气线路分析等内容。第二篇为港口常用电动机械自动控制线路的分析,介绍门座式起重机、可控硅定子调压调速门机、装卸桥、自动平层电梯及轮胎起重机等的电气设备和线路。

本书作为中等专业学校、技工学校港电专业的试用教材,也可供具有中等文化程度的电气技术人员和工人参考。

交通系统中等专业学校试用教材

港口电气设备

(港电专业用)

上海港湾学校

港口电气化教研组编

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

北京市通县曙光印刷厂印

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 13.25 字数: 310千

1979年12月 第1版

1985年6月 第1版 第3次印刷

印数: 5,101—7,900册 定价: 2.10元

前 言

根据交通部教育局一九七八年春季教材会议的精神和安排，我校承担编写了《港口电气设备》试用教材。该教材的主要任务是使学生了解交、直流电动机继电——接触控制的基本原理，熟练分析港口常用电动机械的继电——接触控制线路，掌握一定的设计、维修线路方面的能力。

本教材是在我校原《港口电气设备》教学讲义的基础上编写而成的。在编写过程中考虑到继电——接触控制系统是目前港口电力拖动系统中，应用最广泛和最基本的控制系统，所以本教材还是以继电——接触自动控制线路内容为主。但是，考虑到随着港口电气化自动化程度的提高，电子技术的应用将日益广泛，所以在教材中对于有关电子技术在港口电动机械上的应用情况也作了适当的介绍。

本教材内容共分两篇。第一篇中除第一章由胡桂林、李明复合编外，其余全由李明复编写。第二篇中除第十、十二两章由李明复编写外，其余全由胡桂林编写。全书经丁传作审阅，陆智良、陈家章、谭国烟等也参加了审阅。书中图由刘松鹤、张修丽等绘制。在编写中，曾得到天津港务局、上海港务局等单位的大力支持，我们在此表示衷心的感谢。

由于时间匆促和我们的业务水平所限，本教材中的缺点和错误在所难免，恳望读者批评指正。

目 录

第一篇 电动机的继电——接触控制

第一章 电动机的基本控制线路及图示法	1
§1-1 电动机的基本控制线路	1
§1-2 电气原理图	5
§1-3 电气线路接线图	5
第二章 电动机的控制原则	6
§2-1 行程原则的控制	7
§2-2 电流原则的控制	8
§2-3 速度原则的控制	9
§2-4 时间原则的控制	13
§2-5 各种控制原则的比较	15
第三章 电动机的保护	17
§3-1 热保护	18
§3-2 过电流保护	21
§3-3 短路保护	22
§3-4 缺相保护	23
§3-5 零电压保护	27
§3-6 零励磁保护	28
§3-7 电动机的供电电路	29
第四章 直流电动机的控制	31
§4-1 直流电动机的起动控制	31
§4-2 直流电动机的制动控制	34
§4-3 直流电动机的调速控制	46
§4-4 直流拖动的桥式起重机电气线路分析	60
§4-5 发电机—电动机系统的控制	63
第五章 交流异步电动机的控制	67
§5-1 鼠笼式电动机的起动控制	68
§5-2 线绕式电动机的起动控制	78
§5-3 交流异步电动机的制动控制	86
§5-4 双速鼠笼式电动机的控制	105
§5-5 两台交流异步电动机的同步旋转控制	109

第二篇 港口常用电动机械的电气线路分析

第六章 GX-67N 型电动轮胎式起重机的电气设备	112
§6-1 概述	112
§6-2 变幅机构线路分析	114
§6-3 旋转机构线路分析	114
§6-4 起升机构线路分析	115
§6-5 照明和信号系统线路分析	116
第七章 门座起重机的电气设备	119
§7-1 概述	119
§7-2 门机供电	122
§7-3 门机行走机构线路分析	123
§7-4 门机旋转机构线路分析	124
§7-5 门机变幅机构线路分析	125
§7-6 门机起升机构线路分析	126
第八章 49千牛顿可控硅定子调压调速门座起重机电气设备	132
§8-1 概述	132
§8-2 可控硅定子调压调速原理	136
§8-3 主电路分析	138
§8-4 继电—接触控制电路分析	140
§8-5 晶体管自动控制电路分析	142
§8-6 保护电路分析	147
第九章 装卸桥电气设备	149
§9-1 概述	149
§9-2 147/29.4千牛顿交流桥式起重机电气线路分析	151
§9-3 装卸桥供电	157
§9-4 装卸桥大车行走机构线路分析	159
§9-5 装卸桥小车行走线路分析	163
§9-6 装卸桥起升机构线路分析	164
§9-7 照明及信号装置	168
第十章 电梯的电气设备	170
§10-1 概述	170
§10-2 载货电梯的电气设备元件	171
§10-3 电梯的基本控制方式	173
§10-4 四层载货自动电梯线路分析	175
§10-5 按钮控制的自动平层电梯	176
第十一章 Q161轮胎式起重机电气设备	186
§11-1 概述	186
§11-2 起升机构电气线路分析	188

§11-3	变幅机构电气线路分析.....	189
§11-4	旋转机构电气线路分析.....	190
§11-5	行走机构电气线路分析.....	191
§11-6	辅助电路分析.....	194
第十二章	关于设计继电—接触电气线路的一些问题.....	196
§12-1	关于正确设计线路的一些问题.....	196
§12-2	关于正确选择电器的一些问题.....	201

第一篇 电动机的继电 接触控制

随着生产过程自动化程度的提高,电动机的应用日益广泛。电力拖动自动控制的任务,就是使电动机自动地起动、反转、制动、调速及根据生产工艺的要求按规定的顺序工作。自动控制是通过电器、电机等控制元件及由它们组成的控制系统来实现的。

自动控制是在手动控制的基础上发展而成的。手动控制所用的电器是刀开关、转换开关、鼓形控制器、凸轮控制器等,用手动方式操作,直接切断和接通电动机的电源。手动操作的缺点是难以控制较大的电流,不能满足生产机械集中控制的要求;工人的劳动强度大。

在继电—接触控制系统中,通过按钮(或主令控制器)使继电器动作,再由继电器控制接触器动作,接通和分断电动机的电源。接触器的灭弧装置比较完善,可以控制较大功率的电动机;操作回路的电流很小,容易在几个地点实现集中控制,也容易实现按工艺过程加工需要的自动循环。目前,在港口的电动机械中,继电—接触控制系统是应用最广泛的电气控制系统。

由于生产的高度发展,对电力拖动自动控制的要求也不断提高,因此单纯的继电—接触控制往往不能满足现代生产的要求。现代电力拖动系统应用了许多新的控制元件,如电机放大机、半导体器件等。这些电气元件与继电—接触控制相配合,可以大大提高电力拖动的控制质量。虽然如此,继电—接触控制仍为一种基本的控制方法。

在这一篇中,我们将介绍交、直流电动机继电—接触控制的基础知识和基本线路。所选用的线路有的作了必要的简化,以突出问题的主要方面;有的目前在港口机械中并不采用,但能说明继电—接触控制的基本方法,所以也作了适当介绍。但对采用半导体器件的线路不作系统的介绍,只在个别地方偶然涉及到这方面的内容。

第一章 电动机的基本控制线路及图示法

在这一章中,主要介绍电动机的点动、自锁和正反转线路以及继电—接触控制线路的图示方法,熟悉这些内容,可以帮助我们提高分析电气线路图的能力。所介绍的线路都以交流电机为例,它们在原则上也适用于直流电机。

§1-1 电动机的基本控制线路

电动机的点动、自锁和正、反转线路是最简单、最基本的控制线路,在分析电动机的控制线路时会经常碰到,所以首先对这些线路进行分析。

一、点动与自锁线路

图1-1是点动线路。按起动按钮 QA ,接触器 XC 吸合, XC 的主触头闭合,接通电动机 D 的

电源，电机起动。如松开 QA ， XC 释放，它的主触头断开，电机停转。电动机的这种工作状态称为“点动”。点动线路的优点是简单、接线方便。常用来控制动作简单、运行时间不长的生产机械中拖动电机或对安装好的线路进行“点动”检验。

如果电机是长期运转的，点动线路显然是不适用的，这时可采用图1-2的自锁线路，它与图1-1的不同之处就是在 QA 上并联了接触器 XC 的一付常开辅助触头和串联了一个停止按钮 TA 。按 QA ， XC 吸合，电机起动。松开 QA ，由于 XC 的常开辅助触头已经闭合，所以 XC 不会释放，电机仍能正常运转。要停转的话，可按停止按钮 TA 。这种用接触器自己的辅助触头来保证自己的线圈长期接通电源的方法叫做“自锁”。

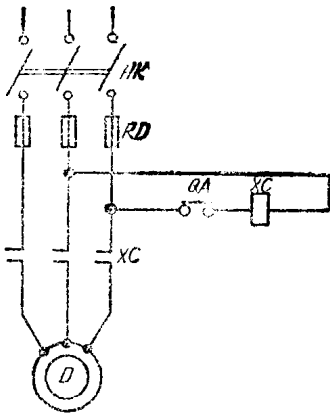


图1-1 点动线路

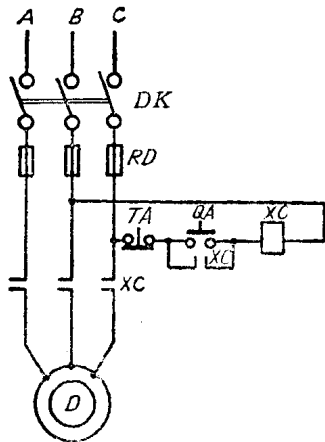


图1-2 自锁线路

二、正、反转线路

多数生产机械要求电动机有正、反两个转向，图1-3是交流异步电机的一种正、反转线路。

交流异步电机改变转向只需交换任意两相的电源进线即可。图1-3中 ZC 为正转接触器， FC 为反转接触器。从主电路可看出，当 ZC 吸合时，电源 A 、 B 、 C 三相分别接在电动机的 a 、 b 、 c 端，电机正转。当 FC 吸合时，电源 A 相接在电机的 c 端， C 相接在 a 端，即 A 、 C 两相进线调换，电机反转。

很显然， ZC 与 FC 不能同时吸合，否则在主电路中会产生短路事故。

线路中 ZA 、 FA 分别是正、反向起动按钮， TA 是停止按钮。操作顺序是先按某一起动按钮，如 ZA ，电机正转。要使电机反转时，先按停止按钮 TA ， ZC 释放，再按 FA ， FC 吸合，电机反转。

ZC 的线圈与 FC 的常闭辅助触头串联， FC 的线圈与 ZC 的常闭辅助触头串联，用来防止

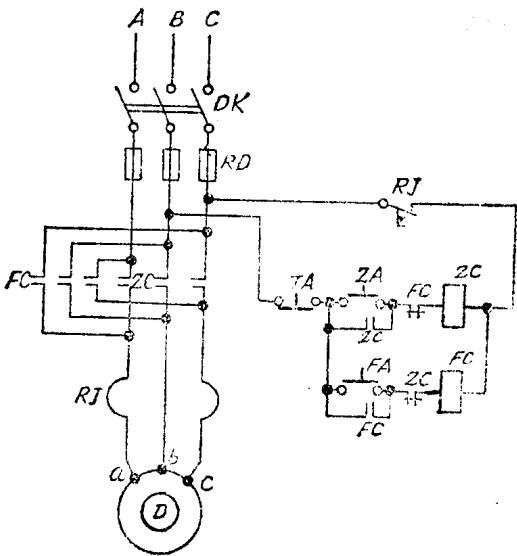


图1-3 接触器联锁的正、反转线路

在误操作时 ZC 与 FC 同时吸合而使电源短路。例如在电机正转时欲使其反转，如果操作人员不先按 TA 而先按 FA ，由于 ZC 的常闭触头已断开，所以 FC 不会吸合。假使把 ZC 的常闭触头短接掉，在发生上述误操作时， FC 就会吸合使主电路短路。与 ZC 线圈串联的 FC 的常闭辅助触头，保证在 FC 吸合时， ZC 不会吸合。 ZA 、 FA 、 TA 通常安装在一个按钮盒内，位置很靠近，上述误操作是很容易发生的，所以上述保护措施具有重要的意义。

在继电—接触控制线路中，当不允许某两个接触器同时吸合时，往往把一个接触器的常闭辅助触头与另一个接触器的线圈串联，这种方法称为电气联锁保护。

在实际使用时单有电气联锁保护还不够。接触器的线圈断电后，其触头可能由于熔焊而仍然闭合，如果有人用手推另一个接触器的衔铁就会使两个接触器都处在吸合状态。所以除电气联锁外还应加装机械联锁。在 ZC 与 FC 间安装一个杠杆，它保证一个接触器在吸合位置时，另一个只能在释放位置。机械联锁能更可靠地保证两个接触器不会同时吸合，但是只能在空间位置比较靠近的接触器间安装。电气联锁可以不受空间位置的限制，但在接触器触头焊住时不能起保护作用。在线路中不允许单独采用机械联锁，因为当一个接触器吸合时，按另一接触器的按钮，虽然由于机械联锁的作用，另一接触器不会吸合，但它的线圈却通过所谓“起动”电流（铁芯未闭合时，交流接触器线圈的感抗小，电流大），时间过长就会烧毁线圈。

图1-4是按钮联锁的正反转线路，其中按钮 ZA 、 FA 都具有—对常开触头和—对常闭触头，电机在运转中反转时，可以直接按下反向起动按钮，不必先按停止按钮。

上述两个正、反转线路都是具有自锁的，实际应用中也点动或点动与自锁相结合的线路。图1-5是点动与自锁相结合，既有按钮联锁又有接触器联锁的正反转线路，适用于工作较为复杂的场所。 ZNA 与 FNA 是正反向点动按钮。

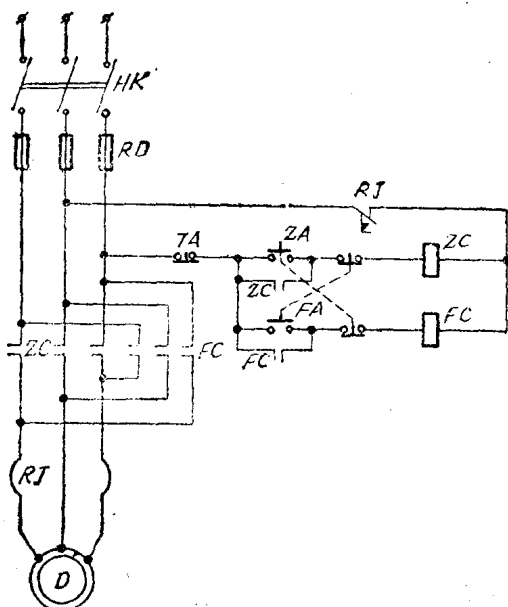


图1-4 按钮连锁的正反转线路

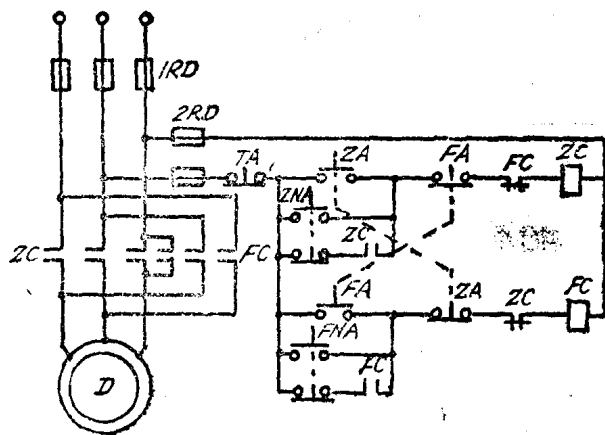


图1-5 点动与自锁相结合的正反转线路

如果需要同时换接多个电路及正反转操作频繁，用按钮控制很不方便，这时常用主令控制器代替按钮，图1-6是这种线路中最简单的一种。

主令控制器 LK 手柄在零位时，合上电源开关，时间继电器 SJ 吸合（因为触头 K_0 是闭合

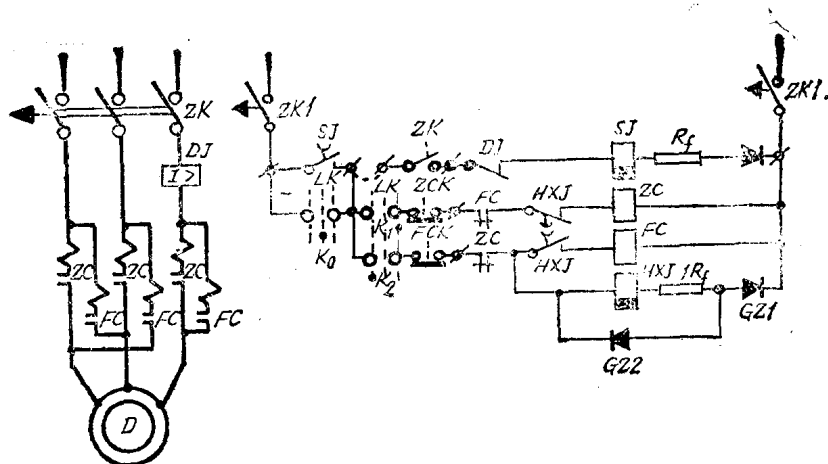


图1-6 主令控制器控制的正反转线路

的)并自锁。把LK的手柄转向右方, K_0 触头断开, K_1 触头闭合, ZC通过SJ的自锁触头与 K_1 得电吸合, 电机正转。

欲反转时, 把LK的手柄转到左方, ZC释放, HXJ首先得电吸合然后FC吸合, 电机反转。LK手柄从左方转到右方时, FC释放, HXJ失电, 由于HXJ的常闭触头是延时闭合的, 所以ZC要过一段时间才吸合。

HXJ的作用是延长ZC、FC之间的转换时间(换相时间), 在操作十分频繁的情况下可以防止由电弧引起的短路。FC、ZC间虽有机电和电气联锁而不会同时吸合, 但在操作频繁时, 可能一个接触器虽已释放但主触头的电弧并未熄灭, 另一接触器却已吸合, 使主电路短路。HXJ延长了ZC、FC之间的转换时间后就能保证电弧来得及熄灭。本线路中HXJ采用JT3-11/1型时间继电器, 它在通电时充电时间为0.8秒, 断电时延时为1秒, 实际上HXJ的动作时间在0.2秒以上就能保证电弧熄灭。HXJ称为换相继电器。如果操作不十分频繁, 可去掉HXJ。

DJ是电流继电器, 它与时间继电器SJ相配合可作电机的堵转保护, 其原理参见第三章。不需要堵转保护时可去掉DJ, 并用零电压继电器代替SJ。

LK的 K_0 触头只有手柄在零位时才是闭合的, 它使电动机只有LK手柄在零位时才能启动。如果手柄在其它位置, 合上电源开关后线路不会开始工作, 这可以避免电动机突然启动而造成人身和生产事故, 对限流启动的电动机来说, 还可以防止电机在无限流情况下启动, 这就是零位保护。

用主令控制器控制的线路一般都比图1-6复杂, 在分析这种线路时, 我们总是围绕着主令控制器, 分析其手柄在各个位置时(包括零位)以及从其它位置回到零位过程中线路的状态。

直流电机改变转向可以通过改变电枢电压极性或激磁电流方向两种方法得到(见图1-7)。激磁绕组的电感大, 电磁惯性也大, 所以很少采用改变激磁电流的方法。

图1-7b)是用改变电枢电压极性的方

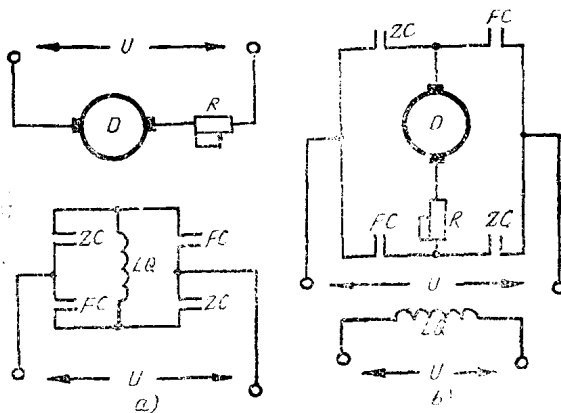


图1-7 直流电机正反转主电路
a)改变激磁方向; b)改变电枢极性

法使直流电机反转的主电路(激磁电流方向不变, 否则不能反转), 它的控制电路与交流电机相似。

§1-2 电气原理图

电动机自动控制电气原理图, 其作用在于说明电气线路的工作原理。电气线路按生产机械的动作要求, 自动控制电动机的起动、运转、调速和制动。因此, 要求电气原理图准确无误, 绘制得清晰易于阅读。目前常见的电气原理图多采用电器元件展开图的形式。

图1-8所示是电气原理图的一种通用画法。原理图一般分主电路和辅助电路两个部分。

主电路就是电气线路中强电流通过的部分, 即从电源经自动开关ZK, 接触器ZC或FC的主触头, 热继电器RJ的发热元件到电动机D。辅助电路包括电动机控制线路, 照明、信号线路及保护线路。由继电器和接触器线圈、继电器的触头、接触器辅助触头、按钮、照明灯、信号灯、电笛以及其它电器元件组成。图1-8中的辅助电路就是虚线框内的那一部分电路。为了易于区别主电路和辅助电路, 通过强电流的主电路用粗线画出; 通过弱电流的辅助电路一般用较细的线条画出。

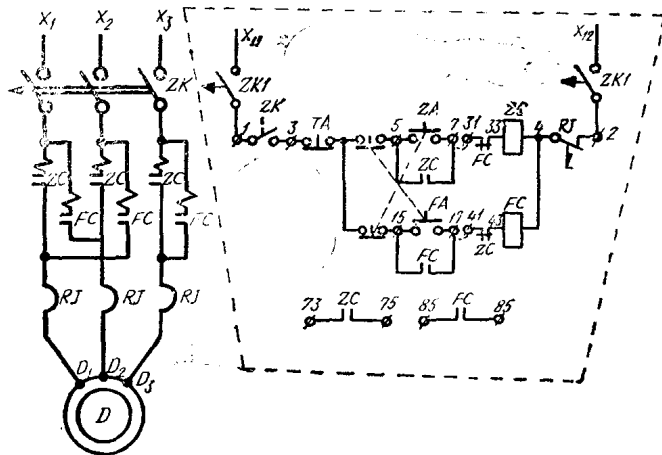


图1-8 鼠笼型电动机控制屏电气原理图

电气原理图只表明电气线路的工作原理, 因此电器在图中一般不表示其空间位置, 同一电器的各元件往往根据需要画在不同的位置。如图中的接触器ZC, 主触头画在主电路中, 线圈和辅助触头画在控制电路中, 而且各对辅助触头可画在不同的位置上, 但同一电器的元件都用同一文字符号标出。这种展开式画法对于表达或弄通电气线路原理都较为方便。

电器元件的触头均按照正常状态, 即没有电压作用和没有外力作用的情况画出。

为了安装和维修方便, 电器和电动机的各个接线端子都要用数字编号。主电路的接线端子用一个字母后面带一位或二位数字编号, 如 X_1 、 X_2 、 X_3 、 D_1 、 D_2 、 D_3 等。辅助电路的电源端子编号与主电路相同, 如 X_{11} 、 X_{12} 。辅助电路本身则只用数字编号, 其原则是以中间电压降最大的电器元件为界, 与左面电源线相关的编单号, 如1、3、5、7、9, 与右面电源线相关的编双号, 如2、4、6、8、10。图1-8中就是以接触器线圈ZC和FC为界编号的。图中的导线电气联接点是用黑点或者圆圈画出的。图中导线虽有交叉, 若无黑点或者圆圈, 说明没有电气联接。

§1-3 电气线路接线图

在安装电气设备或检查电气线路故障时, 有一张电气线路接线图就能提高工作效率。因此, 要求电气安装或者检修电气线路的工程技术人员能绘制正确的电气线路接线图。图1-9是

电气线路接线图的一般画法。

绘制电气线路接线图，首先要弄清电气原理图中所用电器元件的名称与数量。根据各电器的相互关系，考虑到操作方便、电气飞弧距离、振动、通风散热、重量等因素，在给定的控制屏（或控制箱、控制操作台）内合理布置电器元件。接线图与电气原理图不一样，同一电器中的各元件，在电气接线图中要画在一起。

各电器位置确定后，按从上到下，从左到右的顺序编好元件号码，在电器各元件的接线桩头编上与电气原理图中相同的号码，最后用箭头标明电气联接关系。如图1-9中三号电器的线圈的一端33号要与四号电器的某一元件相接，所以在33号元件处画一箭头，并标上4；在四号电器相应的元件33号处画一箭头，并标上3。

电气线路接线图中，除数字编号外，电器元件的文字符号也应与原理图一致。图中的接线端子用来表明屏内与屏外的电气设备联接。端子上应标明外接电气设备的接线号码，每个端子的上方小格是屏（或盘）内电器编号。如图1-9中端子板L，从左到右，1~3是电源端子，4~6是接电动机的端子，它们是主电路接线端子，容量较大。其余是控制电路接线端子。3、5号端子之间外接按钮。3号端子上方小格数字1是指从1号电器（ZK）有一根导线接到该端子；5号端子上方小格数字3，是指从3号电器（ZC）有一根导线接到该端子。

接线图上还应标明所用导线之规格，以利于施工方便。当然，接线图应画得明确清楚，容易检查接线有无错误或遗漏。

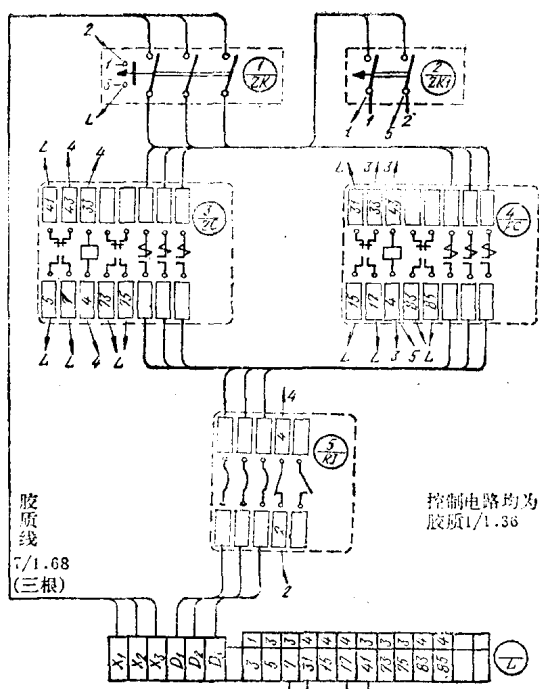


图1-9 电气线路接线图

第二章 电动机的控制原则

电动机在起动、运转、制动和调速等过程中，需要在自动控制电路内完成一系列的转换。为了保证拖动系统正确地工作，这些转换必须依一定的顺序和在适当的时间内完成。例如，对直流电动机的起动来说，为了限制起动电流，往往在电枢电路内串入电阻。在刚起动时，起动电阻是全部接入的，随着电机的加速，起动电阻应逐渐减少以至全部短接，这个过程，必须依照一定的次序和在适当的时间内完成。

用什么方法来实现按生产要求转换控制电路呢？我们仍以直流电机的起动为例来说明。图2-1是直流并激电动机在起动过程中电枢电流、转速随时间变化的曲线，电枢电路中串有三级起动电阻。从图中可知，起动过程中，电枢电流在 I_1 与 I_2 之间变化，电机的转速逐步升高，它们的变化都与一定的时间相对应，因而可以分别根据电流、转速、时间来控制电动机的起

动。在电机的制动、反转、调速等过程中也可以根据电流、转速、时间等物理量的变化来进行有效的控制。

电动机的控制原则就是指根据某一个或某几个物理量的变化来转换自动控制电路的方法。

常用的控制原则有：（1）行程原则的控制；（2）电流原则的控制；（3）速度原则的控制；（4）时间原则的控制。

当然，还有其它的控制原则，例如可以利用温度、压力等物理量的变化来进行控制。在实际应用中，往往综合使用两个或两个以上的控制原则。

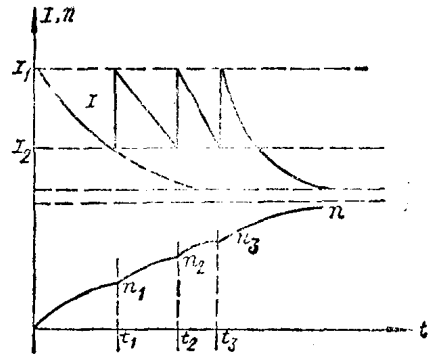


图2-1 直流并激电机起动时，电流、转速随时间变化的曲线

§2-1 行程原则的控制

在一些生产机械中，要求工作部件在到达某一位置时能自动停止或反向运动。例如起重机中起重臂的变幅，为保证安全，有一个预定的最大幅度和最小幅度，当起重臂变幅到这两个位置时应自动停止。龙门刨床的工作台，在预定的行程范围内要求能自动地改变运动方向。根据工作部件的预定行程对拖动电机进行控制的方法称为行程原则的控制。行程控制的电器元件是行程开关。

行程开关安装在工作部件预定要到达的位置，当生产机械的工作部件到达该位置时，安装在部件上的撞块撞击行程开关并以此换接控制电路，改变电动机的工作状态。

行程原则控制是自动控制中应用十分广泛和原理最简单的一种方式。下面介绍两种按行程原则控制的线路。

一、行程控制用于往返循环运动

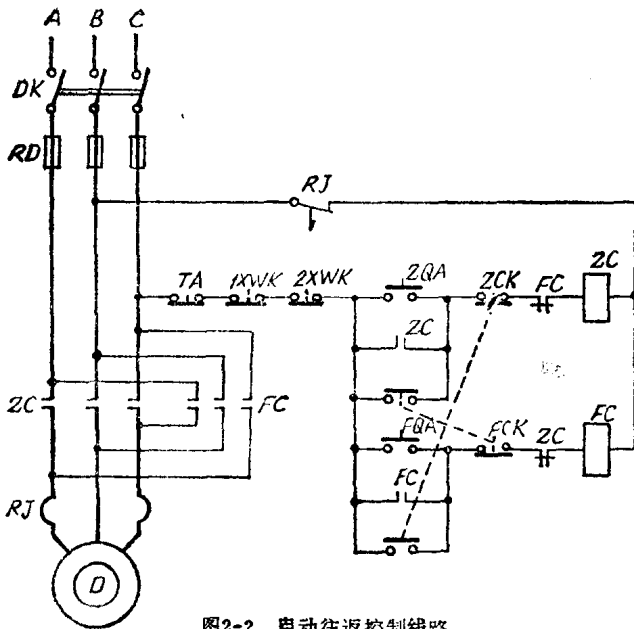


图2-2 自动往返控制线路

图2-2 是用行程开关控制电机循环正反转的线路。按正转起动按钮 ZQA (DK 已合上)，正转接触器 ZC 吸合，电机带动工作部件向前移动。当到达预定位置时，工作部件上的撞块使固定在该位置上的行程开关 ZCK 动作， ZCK 的常闭触头断开， ZC 释放，同时， ZCK 的常开触头闭合， FC 吸合，电机反转，带动工作部件向后移动， ZCK 的触头在撞块离开后复位。工作部件向后移动到预定位置时，撞块使 FCK 动作， FCK 的常闭触头断开， FC 释放，同时 FCK 的常开触头闭合， ZC 吸合，电机从反转变为正转。这样就实现了工作部件的

自动往返运动。如需停车，可按停止按钮 TA 。

$1XWK$ 、 $2XWK$ 安装在工作部件向前、向后移动的极限位置上，以防 ZCK 、 FCK 失灵时，工作部件移动不止而造成事故，它们称为终点开关。

二、行程控制用于限位保护

在某些生产机械中，当工作部件到达一定位置后，再继续运动下去会发生严重事故，所以要限制工作部件的行程。例如起重机的起升机构中，如果吊钩在提升负载到达一定高度时，操作人员不及时停车，将造成撞坏吊杆顶端滑轮、崩断钢丝绳等事故；在下降负载时如果吊钩下降行程超过钢丝绳长度所允许的限度，就会使钢丝绳从滚筒中脱出或崩断。

我们可以利用行程开关来限制工作部件的行程，以免发生危险，图 2-2 中的 $1XWK$ 与 $2XWK$ 就起这种作用。

在起重机的起升机构中，如果把上升限位开关安装在起重臂的顶上作上升限位保护，势必给安装和维修带来困难，必须采用比较方便的方法。

$LX7$ 型行程开关可作起重机起升机构的限位保护开关。它有一个转轴和一套蜗轮、蜗杆传动机构，当转轴转过一定圈数时，经传动机构使触头动作。这种行程开关可以与钢丝绳卷扬筒同轴安装，卷扬筒旋转的圈数反映了钢丝绳放出（吊钩下降）与收进（吊钩上升）的长度，经过事先调整，这种方法安装的行程开关能够起到有效的保护作用而且安装和维修十分方便。

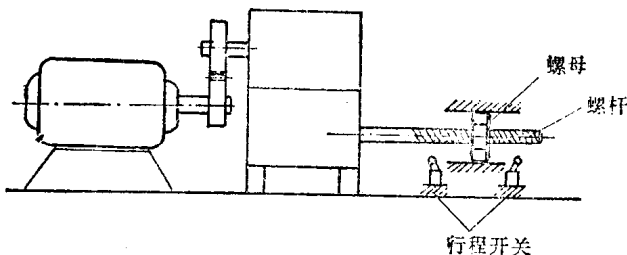


图2-3 起重机起升机构的限位保护装置

图 2-3 是某些单位自己制造的起重机起升机构限位保护装置。螺杆上旋有一个螺母，螺杆与卷扬筒一起转动，螺母不能转动，所以在螺杆转动时螺母就平动，行程开关安装在螺母的前方与后方，一个作上升限位保护，另一个作下降限位保护。

图 2-4 是用限位开关在正、反两个方向作限位保护的线路。线路分析读者自己进行。这个线路用于起重机上时，要把按钮控制改为主令控制器控制。图中 DT 是制动电磁铁的线圈。

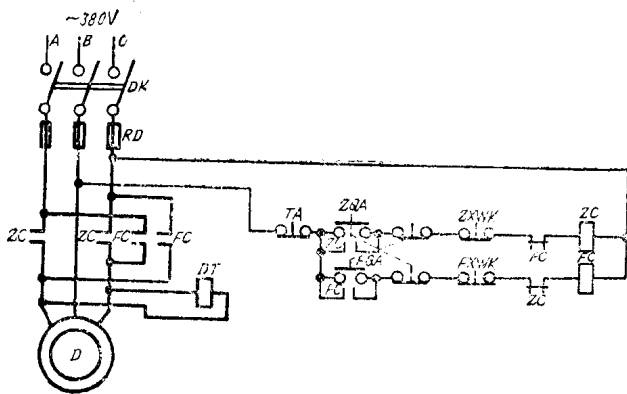


图2-4 限位保护线路

§2-2 电流原则的控制

电流原则的控制就是当电动机的电流变化到某一预定值时使控制线路换接以改变电动机的运行状态。电流继电器是进行电流原则控制的基本元件。按短路电流或过载电流来切断电动机的电源、按起动电流来完成短接起动电阻的操作，这都属于电流原则的控制。

下面以直流电动机按电流原则起动的线路为例加以说明。

线路如图 2-5 所示，电枢电路中串有一级起动电阻， JC 是加速接触器，用来短接起动电阻， LJ 是电流继电器，它的线圈串在电枢电路中，用来控制 JC 的吸合与释放， XC 是线路接触器。 YJ 是电压继电器，它的作用在下面分析。线路只画出了与电流原则控制有关的部分。

起动过程： XC 吸合后，电动机起动，电枢电流由 I_1 逐渐减少到 I_2 。电机刚起动时， YJ 线圈由于承受了电路全电压而其常开触头吸合。 LJ 也由于通过冲击电流 I_1 而吸合，它的常闭触头断开了 JC 的线圈电路，所以 JC 处在释放状态，电枢中串入起动电阻以限制起动电流。当起动电流降到 I_2 时， LJ 释放（ LJ 的释放电流整定在 I_2 ）， JC 吸合，短接了 R_q 。

在开始起动时为了避免 JC 比 LJ 早动作而造成电机无电阻起动，所以配备了继电器 YJ ，只要 YJ 的固有动作时间大于 LJ 的固有动作时间，就能保证在刚起动时 JC 处于释放状态。

LJ 的吸合电流应小于起动时的最大电流 I_1 ，通常取 $0.8I_1$ ，释放电流应等于 I_2 。

电流原则的控制电动机的保护、调速中都广泛应用，有关线路在以后各章中介绍。

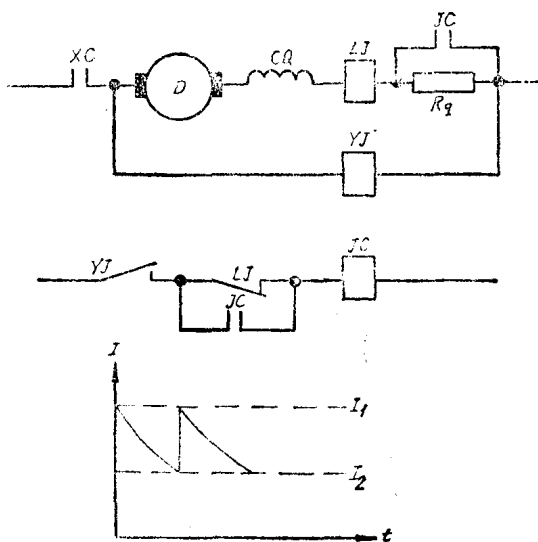


图2-5 直流电机按电流原则控制的起动线路

§2-3 速度原则的控制

速度原则的控制是根据电动机的转速变化来转换控制电路的。速度原则的控制有直接与间接两种。

一、用直接测量转速来控制

1. 速度继电器

在用直接测量转速的方法控制电动机的线路中，经常使用感应式速度继电器，图2-6 是这种速度继电器的结构原理图。

继电器由转子、定子及触点等三个主要部分构成。转子是一块永久磁铁，能绕轴旋转。继电器转子与电动机的轴或机械转轴联接，随着电动机的旋转而转动。定子是一个鼠笼式的圆柱体，也能围绕着转轴转动。当转子随着电动机转动时，就形成一个旋转磁场，定子与转子同方向旋转，这与异步电机的原理相同，转子转速越高，产生的转矩越大。定子转动时带动杠杆 8，杠杆推动动触头 5，使继电器的常闭触头断开，常开触头闭合。同时杠杆通过返回杠杆 7 压缩反力弹簧 2，反力弹簧的阻力使定子不能继续转动。如果转子的转速降低，转矩就减小，反力弹簧通过返回杠杆使杠杆返回原来位置，继电器触头复位。调节螺钉可以调节反力弹簧的弹力，使触头闭合或断开时的转子转速就随之改变。

电动机的旋转方向相反时，继电器转子的转动方向也相反，定子就可带动另一对触头，

使之断开或闭合。

2. 异步电机单向起动反接制动线路

图2-7是用速度继电器控制的异步电机单向起动反接制动线路。图中SDJ是速度继电器。

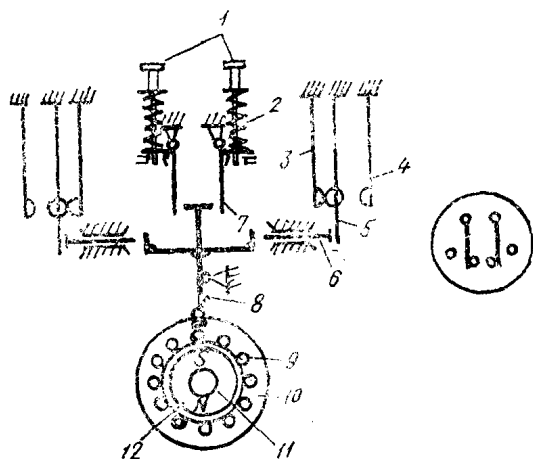


图2-6 速度继电器工作原理图

1-调节螺钉；2-反力弹簧；3-常闭静触头；4-常开静触头；5-动触头；6-按钮；7-返回杠杆；8-杠杆；9-短路导体；10-定子；11-转轴；12-转子

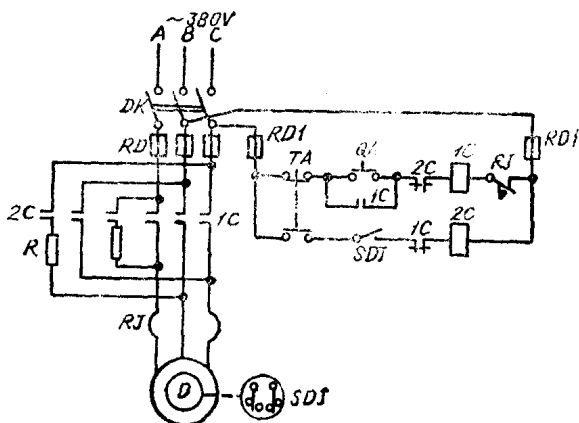


图2-7 异步电机单向起动反接制动线路

按QA，接触器1C吸合，电机起动，当转速达到一定数值时，SDJ的常开触头闭合，为2C吸合做好准备。停车时，按TA，1C释放，2C吸合。这时电机的旋转磁场改变方向，但电机由于惯性仍按原方向转动，电机处在反接制动状态，转速迅速降低，当转速接近零时，SDJ的常开触头断开，2C释放，制动过程结束。

在反接制动时电机的电流比直接起动时的电流还大，所以在主电路中串接电阻R来限制反接电流。

下面介绍间接控制的方法。

二、根据感生电动势进行控制

在直流电机中，电枢中感生电动势与转速的关系为：

$$E_s = C_s \phi n \quad (2-1)$$

式中： E_s ——电枢电动势；

C_s ——电机常数；

ϕ ——磁通；

n ——电机转速。

当 ϕ 一定时， E_s 与 n 成正比，所以 E_s 的大小可以反映电机的转速。我们不能测出 E_s 的大小，但可测出电枢两端的电压 U_s ， U_s 与 E_s 的关系为

$$U_s = E_s + I_s r_a \quad (2-2)$$

式中： U_s ——电枢的端电压；

I_s ——电枢电流；

r_a ——电枢内电阻（电枢电阻、附加绕组电阻及电刷电阻之和）。

r_a 的数值很小，所以

$$U_s \approx E_s \quad (2-3)$$