

高等学校教学参考书

GAODENG XUEXIAO JIAOXUE CANKAOSHU

电力拖动自动控制

南京工学院工业企业电气化及自动化教研室編



机械工业出版社

高等学校教学参考书



电力拖动自动控制

南京工学院工业企业电气化及自动化教研室 编



机械工业出版社

本书是在原南京工学院、华中工学院的工业企业电气化及自动化教研室合编《电力拖动自动控制》上下册的基础上，修订改编而成。内容包括继电接触器自动控制、交磁电机放大机自动控制系统、磁放大器调速系统、离子拖动直流调速系统和随动电力拖动系统等部分。

本书可作高等工业学校工业企业电气化及自动化专业的教学参考书，也可供有关专业师生及工程技术人员参考。

电力拖动自动控制

南京工学院工业企业电气化及自动化教研室编

第一机械工业部教材编审委员会编辑（北京复兴门外三里河第一机械工业部）

机械工业出版社出版（北京苏州胡同141号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张14·字数316千字

1965年10月北京第一版·1965年10月北京第一次印刷

印数 0,001—6,500·定价（科五）1.60元

统一书号：K15033·3975

序

本书系将原南京工学院、华中工学院的工业企业电气化及自动化教研室合編的《电力拖动自动控制》修訂改編而成。刪去了原书的控制元件和磁放大器原理的内容，增加了随动系統的内容，在体系上将較為完整。

修訂改編工作由南京工学院工业企业电气化及自动化教研室承担，由赵家璧同志担任主編。改編交磁电机放大机控制系統部分参考了哈尔滨工业大学和清华大学工业企业电气化及自动化专业所編讲义。随动系統部分系由华中工学院工业企业电气化及自动化教研室李枚安同志提供原稿。

本书初稿由华中工学院工业企业电气化及自动化教研室陈锦江同志审閱，并由工业企业电气化及自动化专业教材編审委员会組織的复审小組复审。

虽然我們做了上面一些工作，但是目前各院校正在深入开展教育革命与教学改革，本书还远不能适应新形势的要求，鉴于本专业教材甚为缺乏，将本书改編付印仅供各院校作为教学参考书。由于編写時間仓促，各方面征求意见还不够充分，书中一定有許多錯誤和不妥之处，殷切希望使用本书的教师、同学和其他讀者提出批評和指正。

南京工学院工业企业电气化及自动化教研室

1965年1月

目 录

序

緒言	1
第一章 继电器接触器自动控制系统	2
§ 1-1 控制线路及元件的图示法	2
§ 1-2 电动机的保护	4
§ 1-3 电动机起动、制动及反转的控制方法	13
§ 1-4 各种电动机的控制	35
§ 1-5 继电器接触器控制线路设计的一些问题	54
第二章 交磁电机放大机自动控制系统	59
§ 2-1 交磁放大机的工作原理和运行特性	60
§ 2-2 交磁放大机的规格及型号	71
§ 2-3 交磁放大机调速系统的基本概念	71
§ 2-4 转速负反馈自动调速系统的工作原理和静特性的分析	73
§ 2-5 转速负反馈自动调速系统的动特性分析	80
§ 2-6 电压负反馈调速系统	85
§ 2-7 电压负反馈、电流正反馈调速系统	87
§ 2-8 电势负反馈调速系统	89
§ 2-9 交磁放大机调速系统主要元件的选择和计算	91
§ 2-10 快速起制动过渡过程的分析	94
§ 2-11 电压自动截止交磁放大机-发电机-电动机系统 (简称截压系统)	99
§ 2-12 电流自动截止交磁放大机-发电机-电动机系统 (简称截流系统)	108
§ 2-13 相互截止交磁放大机-发电机-电动机系统 (简称阿氏系统)	113
§ 2-14 快速系统主要元件的选择和计算	115
第三章 磁放大器调速系统	118
§ 3-1 磁放大器特征参数及其基本线路	118
§ 3-2 磁放大器工作于电感性负载时的特性	119
§ 3-3 磁放大器-直流发电机-电动机的调速系统	123
§ 3-4 磁放大器-直流电动机调速系统	131
§ 3-5 磁放大器控制异步电动机的调速系统 (简称 $\Pi A \Pi$ 系统)	132
第四章 离子拖动直流调速系统	143
§ 4-1 概 述	143
§ 4-2 离子拖动电动机的机械特性	146
§ 4-3 栅控装置	150
§ 4-4 离子拖动直流调速系统举例和系统静特性分析	159
第五章 随动电力拖动系统	165

§ 5-1 基本概念和分类	165
§ 5-2 随动系统典型控制线路的分析	167
§ 5-3 随动系统基本工作质量指标	179
§ 5-4 自整角机组成的误差测量线路	182
§ 5-5 测量误差角的双速自整角机线路	183
§ 5-6 双误差信道线路的选择器	186
§ 5-7 典型随动拖动系统线路	188
§ 5-8 随动系统的设计步骤和计算方法	190
§ 5-9 随动系统校正装置的綜合	192
附录	200
I-1 电器的计算与选择示例	200
I-2 自动控制用各种时间继电器的技术数据	205
II-1 ZKK 系列交磁放大机的基本技术数据	206
II-2 稳定变压器技术数据	209
III-1 国产磁放大器产品系列	209
III-2 单拍磁放大器 Γ - Π 系统静特性图解法	211
IV-1 离子管的技术数据	212
V-1 校正电路的传递函数及渐近对数频率特性	213
V-2 $20\log 1+\omega(j\omega) $ 与 $20\log \omega(j\omega) $ 对应表	215
参考文献	217

緒 言

一、电力拖动与电力拖动自动控制

“一切已經发展的机器，都由三个本质上不同的部分——发动机，传动机构和工具机或工作机——构成”[●]。而机器的第一部分及第二部分的作用都是使工作机产生动作，所以把它們統称为“拖动”。“电力拖动”是指以电动机作为工作机动力的拖动。要使电力拖动满足不同的生产任务要求，必须要通过控制的方法才能完成。如果操作者以简单的控制电器如閘刀开关、轉換开关、起动及調節电阻器等手控电器来实现电力拖动控制的，称为手动控制。手动控制由于要化額外的时间来操作开关设备，因此減低了机械的生产率，特别是在要經常改变工作状态的情况下，和在功率較大的电力拖动中，操作时需要强大的力量，手控很困难或者甚至于不可能。用电力拖动的自动控制就能避免手控操作的缺点，操作者只需发出一定的信号，控制设备就自动地完成工作。例如在电力拖动的某些装置中操作者只要按电鈕或旋轉手柄就能使设备进行工作，有的在工作过程中甚至无须操作者的参与这类工作，而设备能按事先规定的生产程序进行生产。

二、电力拖动自动控制对发展生产的意义

我国社会主义建設的飞跃发展，要求不断的提高社会劳动生产率，而生产上的电气化水平与劳动生产率又有着直接的联系。生产上的电气化水平主要是通过它的电力装备水平反映出来。在各种类型的电力装备中采用自动控制技术后，使生产面貌不断革新，这样能使功率大小不同的单个机器和許多机器按规定的工艺要求和程序进行生产，这样可以提高劳动生产率和产品的质量，还能降低生产的成本。值得指出，电力拖动自动控制开始只是满足一些起动、制动、反轉等一般要求，現在发展得异常迅速，已有可能满足不同靜特性和动特性的要求，甚至符合事先规定的复杂工作程序，这样就有可能在实现单机自动化的基础上完成一个生产程序、一个車間、甚至一个工厂的綜合自动化。因此电力拖动的自动化水平将是工业生产、农业生产和国防建設現代化的重要标志之一。

三、电力拖动自动控制发展现状

我国的电力拖动自动控制工作是在解放后才开始不断发展的，現在已建立了許多用电力拖动自动控制程度比較高的生产设备装备起来的工厂和企业，成立了有关的科学研究和設計部門，在高等和中等院校設置了有关的专业。虽然我国原有的基础比較薄弱，但是在党的正确领导下，在总路綫、大跃进、人民公社三面紅旗的光輝照耀下，我国工农业生产的大发展，促进了电力拖动自动控制科学的迅速发展。完全可以預料，在不长的時間內，我国的电力拖动自动控制科学的水平也将达到世界的先进水平。

● 馬克思，資本論，第一卷 396 頁人民出版社 1953 年。

第一章 继电器接触器自动控制系统

§ 1-1 控制线路及元件的图示法

在现代电力拖动自动控制系统中包括有各种元件，如继电器、接触器、电阻器、变压器及电动机等，它们都是按照一定方式联接起来的。每个元件又由许多部件所组成：如接触器包括主触头、联锁触头、吸引线圈等；电动机包括电枢和磁场绕组等。为了便于设计、研究、分析、安装和使用控制系统，必需使用统一的图来表示它们。这些图既要确切地表示出控制系统的工作与有关的技术要求，又要尽可能地简单与清楚。

图是工程的语言，它的正确绘制直接影响到设计质量与安装使用的效果。自动控制系统图包括两个方面：表示各个元件或部件的图形符号、文字符号；各个元件、部件的联接方法。我们将在下面两节中分别予以说明。

一、控制线路中元件的图形符号与文字符号

控制线路中所用的元件及其部件常用图形符号表示，为了注明该元件的名称及其功用，在图形旁边加注文字符号。我国第一机械工业部于1960年颁布了统一的图形符号与文字符号，但是目前生产上也还有用其他类型的图形符号与文字符号的。

在画继电器接触器及其他开关电路中常碰到这样一个问题：它们在线路动作过程中触头的状态是改变的，怎样用一个静止的图形来表示一个常要变动的实际电路呢？我们规定：电路中所有的图形符号都是表示这些电器在没有通电和没有受外力作用时的状态，即所谓“平常”状态。如继电器“常开”触头就是指该触头在继电器线圈未通电时是断开的，而通电以后它就闭合了。

在作线路图时应注意正确地画出规定的符号，特别要注意一些容易混淆的符号如：继电器的电流线圈与触头上的灭弧装置，继电器的电流线圈，电压线圈与变压器的绕组，六种延时触头等。

由于目前汉字拼音的文字符号尚未广泛采用，因此本教材中仍采用俄文字母。

二、控制线路图示法

控制线路图中全部线路可以分成二部份：主电路和辅助电路。主电路是强电流的电路，也就是在主电路中有较多的电能转换成其他形式的能量（如热能、机械能等）。主电路以外的其他电路都属于辅助电路，在这些线路中消耗的电能是比较小的。它包括：控制电路（联接接触器、继电器的线圈、触头以及其他起控制作用元件的电路），保护电路，信号电路及其他特殊电路。为了便于阅读起见，主电路用粗线来画，辅助电路用细线来画（参看图1-1b）。

● 请参阅第一机械工业部电工专业标准：电气线路图上图形符号〔电（D）42-60〕；国家标准：电工系统图图形符号〔GB312-64〕和国家标准：电工设备文字符号编制通则〔GB315-64〕等文件。

线路图按不同的用途可以分为二种：原理图和安装接线图。

1. 原理图（展开图）

图 1-1 中输出的是鼠笼式异步电动机的控制原理图。为了了解原理图的特点，我们先把这线路的动作原理阐明一下。线路中包括下列元件：鼠笼式异步电动机 $A\Delta$ 、自动空气断路器 A 、线路接触器 J 、闸刀 P 、熔断器 ΠP 、起动按钮 J 与停止按钮 C 。它们是按照相互联接的顺序用便于阅读的形式画出的，完全不表示元件的空间布置情况。其中最值得注意的是接触器 J ，它的三个主触头画在图 1-1b 的左半边（主电路），它的一个联锁触头与吸引线圈分散画在图的右半边（控制电路）。但实际上它是一个整体。

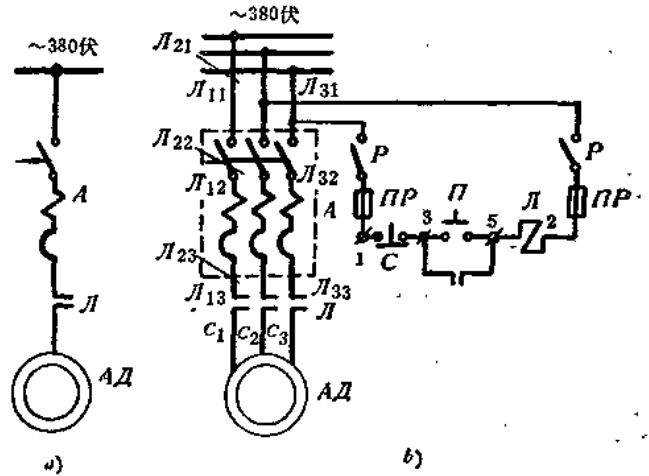


图 1-1 鼠笼式异步电动机的控制原理图：

a) 主电路的单线图；b) 主电路的三线图与控制电路图

当线圈通电、铁心吸引 $\odot$ 时，四个触头是同时闭合的。线路动作程序如下：（1）起动时，先合上自动空气断路器 A 和闸刀 P 。然后按下按钮 J ，接触器线圈 J 通过回路 $J_3 1352 J_2$ 通电吸引，其主触头闭合。电动机 $A\Delta$ 起动，同时它的联锁触头也将 3、5 两点接通，使在按钮 J 放松后 J 仍能保持通电吸引，这种作用叫作自保持（简称自保）。

（2）停车时，按下按钮 C ，使 J 线圈断电， J 释放，它的主触头切断主电路电源使 $A\Delta$ 停下来，它的联锁触头切断控制电路使 C 还原时电机不会再起。

从以上叙述可以看出，线路这样布置对了解动作原理是方便的，因而用它作为设计、研究与分析线路时的依据。下面我们吧绘制原理图的主要原则归纳如下：

（1）各个元件及其部件在线路中的位置根据便于阅读的原则来安排，同一个元件的各个部件可以不画在一起。通常把主电路与辅助电路分开来画，并分别用粗线 与 细线 表示。

（2）辅助电路中电源线垂直画于两旁，各分支电路基本上按控制的动作顺序由上到下平行绘制，不同作用的电路也可以分别集中在一起（如各信号电路，保护电路）。

（3）全部图形必须按规定画出，所有电器触头都是按平常工作状态画出。

（4）全部文字符号必须按规定写，一张线路图中不允许用一个文字符号表示一个以上的元件。

（5）两根以上导线的电气联接处要画上一个圆点，需要将接线引至控制屏外面的电气联接就画一个带斜线的圆点。

$\odot$ 在本书以后各章节中，均规定用吸引与释放表示电器铁心的动作情况，闭合与断开表示触头状态，通电与断电表示线圈状态。

(6) 为了讀图的方便, 图中还附有主令电器的触头閉合表 (參看图1-6)。

(7) 为了安装与检修方便, 电机以及电器的接綫端均要标一个編号。編号的原則是: 主电路中的电气接点一般用一个字母, 另附一位或两位数字标注; 輔助电路中的电气接点只用数字編号, 一般具有左边电源綫极性的接点用单数标注, 具有右边电源綫极性的接点用双数标注, 单双数接点以产生大部分电压降的部件 (如綫圈、电阻元件) 为分界綫。

应该指出, 以上作图方法不是唯一的。在生产中常碰到一些原理图, 它也在一定程度上反映了元件的空間布置, 这种安排也是为了方便地了解綫路动作原理 (在某些国外图纸中較多采用)。

2. 安装接綫图

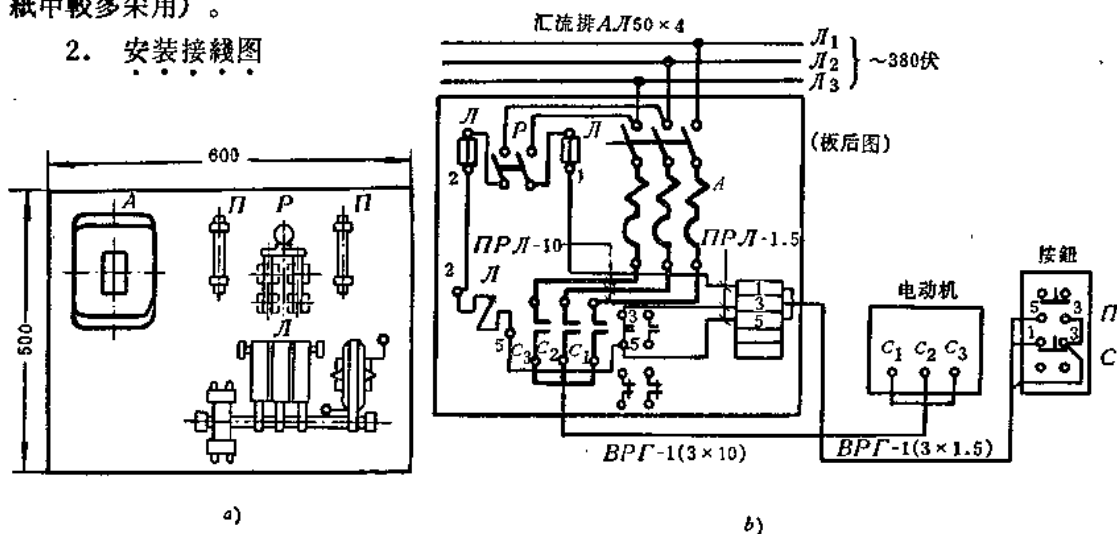


图 1-2

a) 电器布置图 (正面图); b) 安装接綫图 (板后图)

图 1-2 是图 1-1 b 的安装图。图 1-2 a 是板前电器布置图, 图 1-2 b 是板后安装接綫图。在这种图上电机电器和其他元件都是按照它們的实际空間布置情况繪制的, 一个元件的各个部件也是按照它們的实际装配情况画在一起。在安装接綫图中还标明了导綫的截面与敷設方法, 图中所有图形、符号及編号必須与原理图中一一对应。很明显, 要从安装接綫图来了解綫路动作原理是困难的, 但它却便于安装与检修, 因而它是安装和检修工作的主要依据。

§ 1-2 电动机的保护

一、电动机保护的分类和作用

电力拖动自动控制系统必須在安全可靠的条件下来实现技术与經濟的要求, 因此, 綫路中必須有实现各种保护作用的保护元件和联鎖装置。一般地說来, 保护的内容是十分广泛的, 它必須全面地保証电网、电动机、电器、生产机械的工作不受到損坏。不同类型的电动机、生产机械和控制綫路有着自己的特殊要求。这里只讲最常用的保护, 它們主要是用于保护低压电动机的。各种保护的作用如下:

1. **短路电流的保护**——保护电网及电机免受短路电流的影响。电动机及线路的短路故障将引起很大的短路电流，它将引起配电线路过热、过大的电压降和电动应力。在短路电流流过电动机绕组的情况下，将引起绕组过热和不允许的应力，使绕组损坏；对于直流电机还可能造成“环火”现象。

2. **过电流保护**①——保护电动机免受过电流的影响，也就是在一定程度上保护生产机械及电动机免受不正常负载转矩的影响。由于电动机不正确的起动或生产机械负载转矩剧烈的增加，常常引起电动机很大的过电流，这电流在数值上一般比短路电流小一些，但它对电动机同样会产生和短路电流类似的损坏，而且由于过大的转矩还可能引起电动机及生产机械的机械损坏。对于交流电动机来说，不长时间过大的负载转矩可能使电机停顿下来。

3. **热保护**②——保护电动机绕组，使不超过允许温升。当电动机绕组电流超过额定值时，它允许在一定时间内工作，但时间过长会引起绕组过热，超过绝缘所允许的温升。

4. **零电压及欠电压保护**——在电动机正常工作时，如果因为电源电压的消失而电动机停转，那末，在电源电压恢复时电动机就可能自动起动（简称“自起动”）。电动机的“自起动”可能造成人身事故或机件事故；对电网来说，许多电动机同时“自起动”也会引起不允许的过电流及电压降。防止电压恢复时电动机“自起动”的保护叫零电压保护。在电动机运转时，电源电压过份的降低会引起电动机转速下降（同步电动机在失步前转速不会下降）甚至停顿；同时，当负载转矩一定时，电流就要增加。此外，由于电压的降低将引起一些电器的释放，造成线路不正常工作，可能产生事故。因此需要在电压下降达到最小允许电压值时将电动机电源切除，这就是欠电压保护。

5. **零激磁的保护**——直流电动机激磁电路的断开，有引起电动机超速的危险，并可能发生严重事故；同步电动机没有激磁电流时就会失步。为了消除这种事故，常在激磁电路中接入欠电流继电器，当激磁电流消失或者小到某一定值时，继电器就释放，使主电路脱离电源。

6. 完成保护作用的一些联锁：

(1) **正反向接触器间的联锁**——在正反转的电动机控制电路中，正反向接触器同时接通将引起电网的短路。（见图 1-8）因此必须有保证正反向接触器不会同时接通的机械装置或线路环节，通常叫作联锁。

(2) **几个电动机的联锁控制**——当生产上同时应用几个电动机时，常常要求它们之间按一定的顺序起动和停止。例如在机床上，必须保证油泵电动机先起动，当机床润滑系统正常时才能允许主电动机起动。因此控制线路必须有保证这种顺序的联锁。

此外还有保护轴承温度不过高的联锁、保护润滑油供给不中断的联锁、保护电动机不

① 有的书上称为最大电流保护，似不够通俗；有的书上称为短期过载的过电流保护，似不够确切，因为如果没有保护装置，过电流不一定是短期的。

② 有的书上称为长期过载的热保护，似不够确切，因为具有关键意义的是电动机绕组的发热，有时不一定是长期的，如电动机起动故障造成起动时间的拖延，不长时间就会烧坏绕组；有的书上称为过载保护，不能表达出它与过电流保护的本质差别；也有书上把过电流保护与过热保护合起来统称过载或过载保护，这样就混淆了不同性质的两种保护。

超速的联鎖、保护生产机械不超过允許位置的联鎖……等，这里不一一例举。

二、短路电流的保护

短路电流保护的要求有三：

(1) 满足电网选择性的要求——对于接有电动机的电网分支线路来说，要求在最小短路电流时能瞬时（在前级保护装置动作以前）切断故障电路。

(2) 工作可靠——在电动机起动及正常工作时不产生误动作。

(3) 足够的断弧能力——要能可靠地切断短路电流的电弧。

下面将分别讨论各种短路保护的线路，各种保护元件的特点及选用原则。

1. 熔断器

用熔断器作异步电动机主电路及控制电路短路保护的线路见图 1-3a，图中控制电路的短路保护就利用主电路的熔断器，这在小容量电动机中是允許的。熔断器是应用最早和最简单的保护元件，其特点如下：

(1) 价格便宜。

(2) 限流式的熔断器断流时间短，具有高断弧能力，额定电流較小的熔断器比同样额定电流的自动空气断路器有更大的断流容量。

(3) 熔体的品质、老化（随着时间增加其品质发生变化）及环境温度等因素对其动作值（极限工作电流值）影响很大。

(4) 用以保护异步电动机时，有可能因一相熔体烧断而造成电动机单相运行。

(5) 熔断以后需要更换是一个麻烦。

由于存在着一些缺点，因此它比较适用于对动作准确性要求不高或自动化程度較差的系统中，如容量較小的鼠籠式异步电动机与直流电动机中。在控制电路的保护中广泛使用熔断器。

熔断器熔体额定电流的选择必须保证在电动机起动时不熔化，对一般直接起动的鼠籠式电动机，根据經驗得出的数据列于表 1-1，可供选择时参考。

表 1-1 鼠籠式异步电动机熔断器熔体额定电流的选择

熔 断 器		熔 体 材 料	熔 体 額 定 电 流 的 选 择	
类 别	型 号		电动机輕載起动 或空載起动	电动机重載起动① 或帶負載起动
热 慣 性	螺旋基座	鉛	按 I_n	按 $\frac{I_n}{3.75}$
小热慣性	RM 1 RM 2	鋅	按 $\frac{I_n}{3}$	按 $\frac{I_n}{2}$
无热慣性	RTO	銅或銀	按 $\frac{I_n}{2.5}$	按 $\frac{I_n}{1.6}$

① 凡起动时间在 1.5 秒以上而起动电流大于 5 倍额定电流或起动时间在 2.5 秒以上或每小时起动次数大于 15 次者可列入重載起动条件——見《1000 伏以下电气装置中的熔断器》1957 年版、第 73 頁。

为了迅速可靠地切断短路电流，应当选用无慣性限流式的熔断器。我国試制成功的 RTO 熔断器的断弧能力已达五万安培。

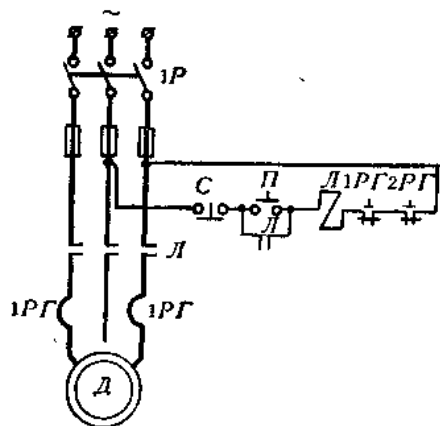
2. 自动空气断路器

用自动空气断路器作电动机短路保护的线路见图 1-3 b。图中自动空气断路器 A 的电磁脱扣线圈在过电流时吸引，使自动空气断路器自动跳闸（图中热脱扣的作用请看 § 1-2、四）。在接触器 J 线圈的自保回路中引入 A 的辅助触点，保证必须 A 先合闸以后 J 才可能自保。

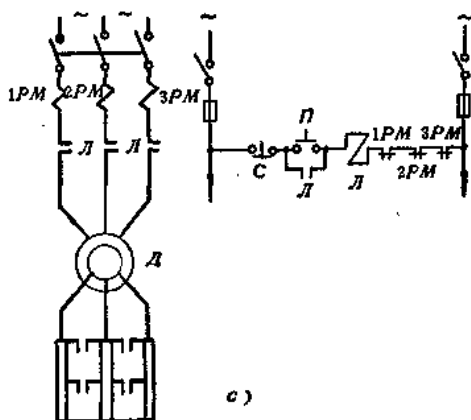
熔断器的缺点，在自动空气断路器中得到了解决。而且自动空气断路器还能够具有多种保护（后面各节要讲到），因此它广泛地使用在要求较高的各种交直流电动机及其配电电路与控制电路中，用以代替熔断器与闸刀。当然它比熔断器要贵一些。

有些应用过电流继电器作过电流保护（见 § 1-2、三）的线路中，过电流继电器亦可兼作短路保护（严格地说是作它的测量元件）。图 1-3 c 中，当电动机正常工作时，如有短路电流流过主电路则过流继电器 $1PM$ 、 $2PM$ 或 $3PM$ 吸引，切断接触器 J 的线圈， J 的主触头切断短路电流。但是，一般情况下，交流接触器的断弧能力只能切断 7~10 倍的额定电流，直流接触器只能切断 4 倍额定电流，因此为了能够切断短路电流有时不得不加大接触器的容量。

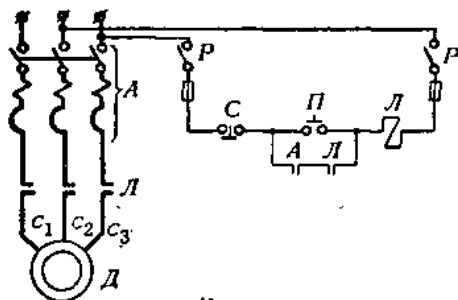
为了扩大保护范围，短路保护元件在线路中应安装得愈靠近电源愈好，图 1-3 a、b 中它们均放在接触器主触点的前面，这样可以保护接触器的触头在断开电路时由电弧所造成的短路事故。



a)



b)



b)

图 1-3 异步电动机的保护与控制线路环节：

a) 用熔断器与热继电器保护；b) 用复式脱扣器的自动空气断路器保护；c) 用过流继电器的保护

- 因为在有接触器控制的线路中，自动空气断路器不用来直接控制电动机的起动，也就是在 A 合上时电动机不应该转动。如果工作状态失常，在 A 合上时电动机转动，那就可能产生事故。
- 过电流继电器不同于熔断器与自动空气断路器，它只是一个测量元件，它的保护作用要通过执行元件接触器来完成；自动空气断路器把测量与执行元件装在一起；而熔断器把测量与执行元件合而为一。

三、过电流保护

过电流保护有着下列特点:

(1) 不正确的起动与过大的负载转矩常常引起电动机很大的过电流,这一点与短路故障有些相似。但是由此而引起的过电流一般较短路电流要小。

(2) 过大的负载转矩所引起电机与生产机械的损坏常常在很短时间内产生的,因此要求瞬时切除故障。

(3) 过电流在电动机运行中产生的可能性较短路为多,特别是在频繁起动和正反转的重复短时工作制电动机中。

从以上特点来看,原则上短路保护所用元件都可用作过电流保护,当然对保护元件的断弧能力可以要求低一些。完全可以利用控制电动机的接触器来断开过电流,因此常用瞬时动作的过电流继电器与接触器配合起来作过电流保护如图1-3c那样。

由于鼠笼式电动机直接起动的电流很大,如果要使保护元件在起动时不误动作,瞬时动作的过电流保护元件的整定值必须大于电动机的起动电流;而那样,在一般过电流的情况下,它就无法起保护作用了。所以过电流保护常用于限流起动的直流电动机与绕线式异步电动机中,用作保护的过电流继电器的动作值,照120%的起动电流(或反转过程中最大电流)来整定。对于频繁起动的线路,过电流继电器的额定值应大于电动机的额定电流(考虑频繁起动电流在绕组中的发热效应)。

直流电动机的过电流可能引起整流子的“环火”,因此在大容量、重要的电动机上,要用特殊的快速自动空气断路器作过电流保护,当然它也能起短路保护的作用。

四、过热保护

电动机在过载不大的情况下工作是允许的,其允许工作的时间受绕组发热条件的限制。显然,过载愈大,温度升高得愈快,允许工作的时间就愈短,可以用图1-4的曲线A来表示。

为了充分利用电动机,理想的保护元件要能正确地反映电动机绝缘的温度,它仅仅在电动机达到允许温升的瞬间把电动机电源切除,也就是要求保护元件 $t=f\left(\frac{I}{I_n}\right)$ 特性(见图1-4曲线C)的形状与电动机的特性A完全一致而略低于它。实际上不可能有这样的保护元件,所有保护元件都只可能在一定程度上反映电机的发热状况。下面就各种元件的保护性能讨论如下:

1. 熔断器

当电流超过小热惯性熔体的极限电流时,熔体几乎是瞬时熔断的(见图1-4曲线PP),

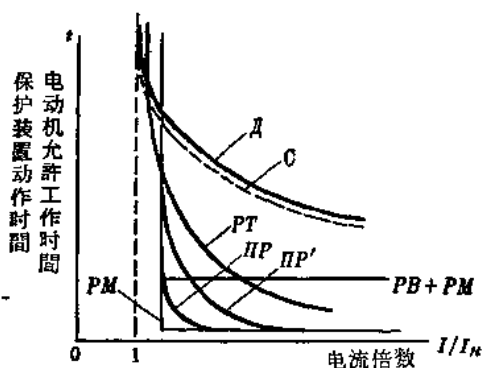


图 1-4 电动机与热保护元件的特性:

A—电动机允许工作的电流-时间特性; C—理想保护元件动作的电流-时间特性; PT—热继电器动作的电流-时间特性; PP—小热惯性熔断器动作的电流-时间特性; PP'—大热惯性熔断器动作的电流-时间特性; PM—瞬时动作的过电流继电器动作的电流-时间特性; PM+PB—瞬时动作过电流继电器与时间继电器串联联接时动作的电流-时间特性

为了使它在电动机起动时不误动作，熔体的额定电流必须比电动机额定电流大许多（鼠笼式电动机的数据，如表 1-1 中那样，限流起动的直流电动机与绕线式电动机倍数可以小一些，但仍比额定电流大得多），这样，就不能保护较小过载情况下电机的过热。大热惯性的熔体当电动机轻载起动时，由于其热惯性较大来不及熔化（图 1-4 中曲线 $II P'$ ），所以可以按电动机额定电流来选熔体（如表 1-1 那样）的额定值，这时熔体可以在长期过载中作过热保护。应该说明，如果电动机是频繁起动的，那熔体还是会在起动时熔断的。所以只有长期工作和轻载起动的小容量电动机可以用大热惯性熔断器作过热保护。

2. 热继电器

用热继电器作过热保护的线路见图 1-3 a，当电动机运行时，如有超过额定值的电流流过主电路，则热继电器 PT 双金属片的弯曲度增加，经过一定时间弯到一定程度以后断开自己的触头，接触器 J 释放并切断电源。热继电器的保护特性见图 1-4 曲线 PT ，它比熔断器接近电动机的特性。当选择热元件的额定值等于电动机额定电流时，它在起动时不会误动作。长期工作的电动机当过载不大时，继电器还能较好地配合电动机特性，但在较大过载时就会过早地切断电动机。由于热继电器的保护特性与电动机的特性不一致，因此，当电动机工作在重复短时工作制时，特别是在起动频繁时，继电器就不能反映电动机的发热情况，因而就不适宜作电动机的过热保护了。热继电器的双金属片动作较慢，当短路电流流过时，在双金属片还未将控制电路断开以前，加热元件已经要烧毁，因此热继电器必须与其他短路保护元件配合使用（如图 1-3 a 所示）。

老型号的热继电器 $JR1$ 与 $JR2$ (PT 与 PTC) 的动作值不准，它受产品质量与环境温度变化影响较大，整定较困难。我国最近制成的热继电器 JRO 有温度补偿，在环境温度变化时，动作值变化很小；允许在 $0.64 \sim 0.8 \sim 1$ 倍额定值间调节，因而能较好地满足要求。

带复式脱扣器的自动空气断路器上常常装有热脱扣器，但是，有的（如 $DZ1$ ）不宜作电动机过热保护，因为当电动机过载倍数不大时脱扣器的动作时间过长。这种热脱扣是作为配电线路的保护以及防止电动机在负载过大时起动而产生的“堵转”现象。在保护要求不高的小容量电动机上也有单独用复式脱扣的自动空气断路器 $DZ4$ ($API-25$) 作电动机的过热及短路保护的（如图 1-3 b）。

3. 过电流继电器

瞬时动作过电流继电器的保护特性见图 1-4，与小热惯性的熔断器一样，它根本不能反映电动机发热情况，如果过电流继电器要整定得在起动电流通过时不动作，那它就无法作电动机较小过载时的过热保护了。

图 1-5 中用时间继电器 PBM 与瞬时动作的过电流继电器 $2PM$ 配合起来使用，它们合在一起组成了一个有固定延时的过电流继电器（由于交流线路中广泛采用了直流阻尼式时间继电器，所以在 PBM 线圈中串联了整流器）。当 P 合闸、按下按钮 II 时， J 吸引并自保，电动机起动。在电动机起动时，起动电流虽然使 $2PM$ 吸引，但是 PBM 由于有

● “堵转”现象是指电动机在负载过大时起动时间过长，甚至不能起动的现象，这时热脱扣器由于长期过电流发热而动作，使自动空气断路器跳闸。

延时作用，其触头 PBM 还要经过 $1.5 \sim 3$ 秒才断开。如果电动机起动情况是正常的，那么，在 PBM 还未释放时，起动过程已经完成，电流下降， $2PM$ 重新释放并闭合自己的触头，电动机进入正常工作状态。因此在正常起动状态下， PBM 不会释放；但如果电动机在负载过大情况下起动，起动时间超过了 PBM 的延时， PBM 就会释放并切断电动机

电源。在电动机过载时，短时间 PBM 也不会释放，只有过载时间超过 PBM 的延时值时， PBM 才断开 J 的线圈，电动机电源被切断。由此可见，具有固定延时的过电流继电器可用以防止电动机起动时的“堵转”现象，以及运行时过长时间的冲击负载的影响。由于它的延时值与每小时起动次数无关，所以能用在频繁起动的系统，特别是在鼠笼式电动机中。图 1-5 中的 $1PM$ 、 $3PM$ 继电器，是用作短路保护的，其动作值整定得比起动电流大。

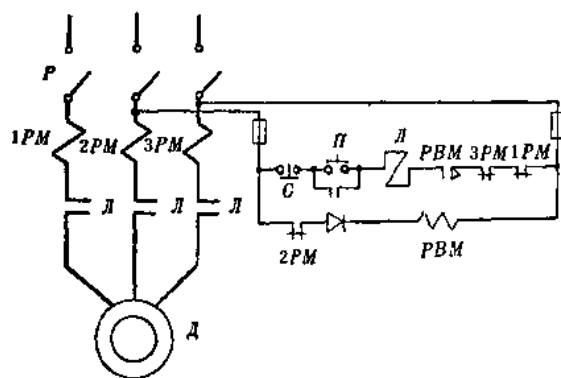


图 1-5 用过电流继电器作鼠笼式异步电动机的起动“堵转”及短路保护。

前面讨论的三种保护元件：熔断器、热继电器与过流继电器，都是用间接的办法来满足电动机过热保护的要求，因而都不能在充分利用电动机的条件下精确地防止电动机过热，特别是在频繁起动的重复短时工作制的情况下。所以水利电力部规程^①上规定“短时间内反复开机停机的电动机，不需要装设过负荷保护”。实用上只装过电流保护。

为了正确地反映电动机发热，可在电动机温度最高的地方埋下热电偶，当该处过热时，热电偶电势就操作继电器使接触器切断电源。这种方法能精确地保护电动机过热，但热电偶必须在制造电机时埋入，这在大容量的专用的电动机中才可能应用。

五、零电压及欠电压保护

在图 1-3 的三个线路中，当电动机已经起动，接触器 J 处在吸引状态时，如果由于故障电网电压降低到小于接触器的释放值，或者电网电压消失时，接触器 J 就释放，切断电动机电源；当电网电压恢复时，由于接触器的自保电路已经断开，除非再按一次起动按钮 Π ，否则接触器 J 是不会自己吸引的，也就是电动机不会“自起动”。所以图 1-3 中的接触器 J 兼有零电压及欠电压的保护作用。同样，用直流接触器来控制直流电动机时，接触器也兼有零电压及欠电压保护的作用。

有些自动空气断路器如 DW0、DW1 (A15) 及 DW2 (A2000) 具有失压脱扣器，当电源电压降至 40% 额定值以下时，自动切断电路。它们可以作为线路的零电压及欠电压保护。

当用主令控制器来操纵电动机时，零电压及欠电压保护的线路有些变化。图 1-6 中 KK 代表主令控制器， $KK0$ 、 $KK1$ 、 $KK2$ 、 $KK3$ 是它的四个触头，触头闭合情况的表示

① 见中华人民共和国水利电力部制订的继电保护和自动装置规程（1962）第 111 条。

方法有两种:

(1) 在线路图中, KK 有三条纵的虚线, 它表示 KK 有反、停、正 (' $H3$ ' ' 0 ' 与 ' $B\Pi$ ') 三个位置, 每个位置上触头闭合情况用黑点表示。如 K 在 ' 0 ' 位的虚线上, 只有 $KK0$ 有一个黑点, 表示在 ' 0 ' 位时只有 $KK0$ 闭合; 在 ' $H3$ ' 位的虚线上 $KK1$ 及 $KK3$ 各有一个黑点, 表示在 ' $H3$ ' 位时 $KK1$ 、 $KK3$ 同时闭合; 同样, 在 ' $B\Pi$ ' 位置时 $KK1$ 与 $KK2$ 闭合。没有画黑点的, 均表示触头在该位置断开。

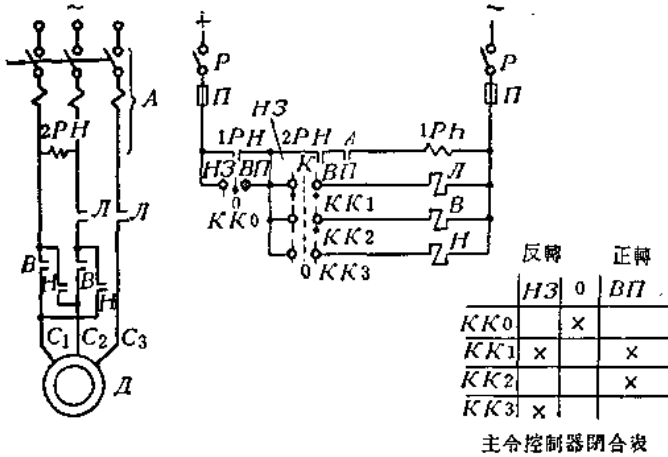


图 1-6 用主令控制器控制鼠笼式电动机的零电压
保护与过载保护

(2) 可以用“闭合表”来表示触头闭合状态。在图右下角列出了 KK 的“闭合表”, 表中用三行表示 KK 的三个位置: ' $H3$ ' ' 0 ' 与 ' $B\Pi$ '; 用四列来表示四个触头: $KK0$ 、 $KK1$ 、 $KK2$ 与 $KK3$ 的状态。凡表中有 ' $\times$ ' 的位置, 表示其触头在这位置是闭合的, 没有 ' $\times$ ' 的位置表示触头在这位置是断开的。当 KK 在 ' 0 ' 位时, 手动合上 A 与 P , 继电器 $2PH$ 吸引, 继电器 $1PH$ 的线圈通过已经闭合了的触头 A 、 $2PH$ 、与 $KK0$ 而吸引,

$1PH$ 的触头将 $KK1$ 触头短接(这也是一种自保), 此时起动的准备工作已经完成。当操纵主令控制器使电动机正转时, $KK1$ 与 $KK2$ 接通, J 与 B 吸引(此时 $KK0$ 虽断开, 但由于 $1PH$ 的自保作用, 线路仍是通的), 电动机由 J 与 B 的触头接入电源。如果操纵 K 向反转, 则 $KK1$ 与 $KK3$ 闭合, J 与 H 吸引, 电动机通过 J 与 H 的触头接入电源。可以看出, 这时电动机定子中左边二根电源线正好对调一下, 也就是电源的相序反了一下, 因此电动机的转向就反过来了。如果在电动机运行中(此时 K 不在 ' 0 ' 位)控制电源突然降低或消失, 继电器 $1PH$ 立即释放并切断 J 、 B 或 H 线圈, 因而电动机电源被切断。当控制电源电压恢复时, 电动机不会自己转动起来, 因为此时 $KK0$ 是不通的。要重新起动电动机, 必先把 KK 返回 ' 0 ' 位, 使 $1PH$ 吸引以后, 再推向 ' H ' 或 ' B '。由此可见, $1PH$ 在这里是与主令控制器 KK 配合使用作为零电压与欠电压保护的。

由于图 1-6 中主电路与控制电路分别接在交直流电源上, 因此除了已考虑了直流控制电路的零电压与欠电压保护外, 还要考虑交流电路的电压保护。这里是通过跨接在定子二根电源线上的电压继电器 $2PH$ 来完成的, 它的触头串在 $1PH$ 线圈电路中, 当交流电压降低或消失时, $2PH$ 释放, 断开 $1PH$ 线圈电路, 通过接触器 J 、 B 或 H , 使电动机停车。与以前讲过的一样, 交流电压的恢复也不会使电动机自起动。

如果在三相线路上跨接二只电压继电器, 它还可以防止异步电动机作单相运行。

继电器 $1PH$ 通常选用 JT3 (P Φ 510), 它在 7~20% 额定电压释放; 继电器 $2PH$ 通常选用 JT4 (P Φ 2161), 它在 25~30% 额定电压释放。显然, 在电压降低不多时上述继电