

第四章 城市轨道交通车辆中常用的 低压电器

城市地铁车辆中所用的低压电器包括通用电器和专用电器。低压电器通常是指根据外界信号接通电路，或对电或非电对象进行控制、保护、转换和调节的电气设备。

低压电器按不同的分类方法可分为多种类型。

1. 按用途分

(1) 控制电器：用于各种控制电路中的电器，如地铁车辆中大量使用的接触器、继电器和开关电器等。

(2) 主令电器：用于自动控制系统中发送控制命令的电器，如按钮、司机控制器、行程开关和万能转换开关等。

(3) 保护电器：主要用于保护设备和电路的电器，使其安全运行，如熔断器、电流继电器、电压继电器、热继电器和避雷器等。

(4) 配电电器：用于电能的输送和分配的电器，如低压隔离开关、断路器和刀开

关等。

2. 按工作原理分

(1) 电磁式控制电器：根据电磁感应原理工作的电器，如直流接触器、交流接触器及各种电磁式继电器等。

(2) 非电量控制电器：靠外力或根据某种非电物理量的变化而动作的电器，如刀开关、行程开关、按钮、压力继电器和温度继电器等。

3. 按执行机构分

(1) 有触点电器：利用触头的接触和分离来通、断电路的电器，如接触器、继电器、电磁阀和刀开关等。

(2) 无触点电器：利用电子电路发出的检测信号执行命令并控制电路的电器，如电子式时间继电器等。

4. 按操作方式分

(1) 自动电器：通过电磁力（或压缩空气）驱动来完成接通、分断电路的电器。常用的自动电器有接触器、继电器等。

(2) 手动电器：通过人工来完成接通、分断电路的电器。常用的手动电器有刀开关、转换开关和主令电器等。

第一节 继电器

一、概 述

1. 继电器的基本组成

继电器是一种根据电学物理量（如电压、电流）或非电物理量（如热、时间、压力、速度等）的变化来接通或断开控制电路，以实现自动控制和保护设备功能的电器，即根据某一输入量来换接执行机构的自动电器。其主要用于控制电路中，用来反映各种控制信号。地铁车辆电气设备柜中的继电器如图 4.1 所示。

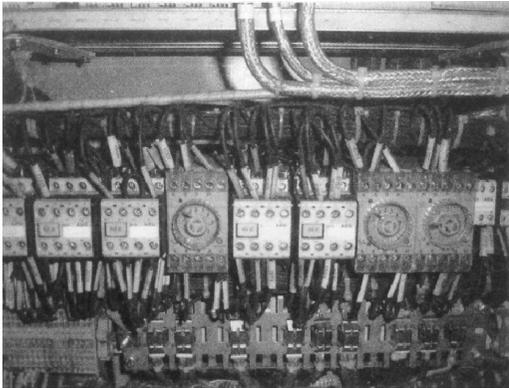


图 4.1 地铁车辆电气设备柜中的继电器

所有继电器不论其形状、动作原理有何不同，均可认为是由测量机构、比较机构和执行机构所组成的，其原理如图 4.2 所示。

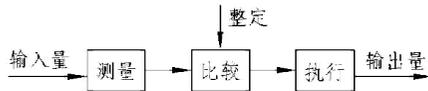


图 4.2 继电器原理框图

测量机构的作用是测量输入量并进行相应的物理量转换。如电磁继电器的测量机构是线圈和铁心构成的磁系统，用来测量输入量的大小，并在衔铁上将输入量转换成相应的电磁吸力。

比较机构的作用是将输入量与其预设的整定值进行比较，根据比较的结果决定执行机构是否动作。如当电磁继电器的电磁力大于反力弹簧拉力时，衔铁吸合，接点（触头）动作，有输出；当电磁力小于反力弹簧拉力时，衔铁不吸合，接点（触头）不动作，没有输出。

执行机构的作用是根据比较结果执行动作。对有触点电器而言，执行机构就是接点（触头）；对无触点电器而言，执行机构一般是晶体管。

电磁式继电器的基本结构如图 4.3 所示。

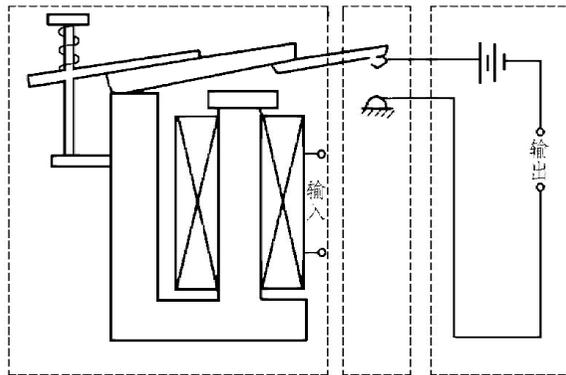


图 4.3 电磁式继电器的基本结构

2. 继电器的分类

继电器的用途广泛，种类繁多，下面根据轨道交通车辆的使用情况来分类：

(1) 按用途分，可将继电器分为控制用继电器和保护用继电器等。

(2) 按动作原理分，可将继电器分为电磁式、电子式和机械式（温度继电器、压力继电器）等。

(3) 按输入电流性质分，可将继电器分为直流继电器和交流继电器。

(4) 按输入的物理量分，可将继电器分为有电量继电器和无电量继电器。

城市轨道交通车辆上使用的继电器有过载继电器、过热继电器、延时继电器、中间继电器、接地继电器和差动继电器等。

3. 继电器的继电特性

继电器的输入量与输出量之间的关系称为输入-输出特性，又称继电特性。继电器常

开触头的继电器特性如图 4.4 所示。

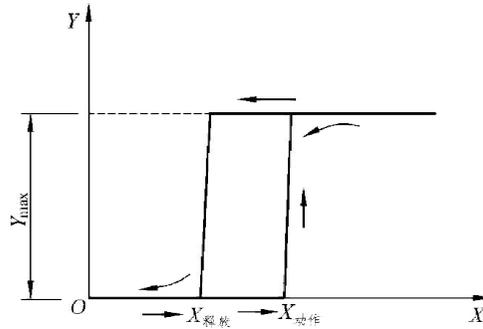


图 4.4 继电器常开触头的继电器特性

设输入量为 X ，输出量为 Y 。在输入量 X 由零增加到 $X_{动作}$ 以前，继电器不动作，触头不闭合，被控电路的输出端电压为零 ($Y=0$)；当输入量 X 增加到动作参数 $X_{动作}$ 时，衔铁吸合，触头闭合，接通被控电路，使得输出端的输出量由零跳变到最大值 Y_{max} ；随着输入量的继续增加，输出量均保持 Y_{max} 不变。如果将输入量逐渐减小，在减小到 $X_{释放}$ 时，衔铁释放，触头打开，切断被控电路，输出端的输出量立刻由 Y_{max} 跳变到零；之后随输入的继续减小，输出量均保持零不变。

使继电器动作所需的最小输入量称为继电器的动作参数，用 $X_{动作}$ 表示；使继电器释放所需的最大输入量称为继电器的释放参数，用 $X_{释放}$ 表示。继电器释放参数与动作参数的比值称为返回系数，用 K_f 表示，即 $K_f = X_{释放}/X_{动作}$ 。返回系数是继电器的重要参数之一。

由继电特性曲线可知，继电器的继电特性实际上是一种连续输入、跃变输出的特性。

4. 继电器的基本参数

(1) 额定值：指输入量及输出量的额定值，如额定电压、额定电流等。

(2) 动作值：能使接点闭合的输入物理量中的最小值，也称整定值。

(3) 返回值：能使接点打开的输入物理量中的最大值。

(4) 返回系数：继电器的释放参数与动作参数之比，即 $K_f = X_{\text{释放}}/X_{\text{动作}}$ 。

返回系数是继电器的重要参数之一，对继电器来说， $K_f < 1$ ， K_f 越接近 1，说明 $X_{\text{动作}}$ 与 $X_{\text{释放}}$ 值越接近，继电器动作越灵敏。对控制继电器而言，返回系数要求不高；对保护继电器而言，返回系数要求较高。一般控制电路中的 $K_f < 0.3$ ，特殊保护电路中的 $K_f \geq 0.8$ 。例如：过电压继电器的 $K_f = 0.85 \sim 0.95$ 。

(5) 动作值的调整：继电器动作值的调整，也称继电器参数的整定。对有触点继电器参数的整定，可通过改变反力弹簧和工作气隙来实现。对电子继电器，可通过改变比较环节的电位器的阻值等来实现。

5. 继电器的特点

继电器一般不直接控制主电路或辅助电路，而是通过控制其他较大的电器来间接控制主辅电路。同接触器相比，继电器没有灭弧系统，结构简单，体积小，重量轻，接触

容量小，动作的准确性要求高。

不同用途的继电器有不同的要求，但不管哪一种继电器，均应满足以下要求：

- (1) 在规定的使用条件下，继电器必须保证高度的可靠性和准确性。
- (2) 在规定的使用条件下，继电器应有足够的控制功率，即在触头上有足够的输出量。
- (3) 在控制功率较大的情况下，继电器必须有较小的动作功率，即有高的灵敏度。
- (4) 使用寿命长，操作频率高。
- (5) 参数能够调节，具有足够的整定值调整范围。
- (6) 结构简单，尺寸小，重量轻，便于制造和维修。

二、电磁式继电器

电磁式继电器的测量机构是电磁铁，执行机构是触头，如图 4.5 所示。它具有工作可靠、结构简单、易于制造等特点，所以得到了广泛的应用。电磁式继电器可分为电压

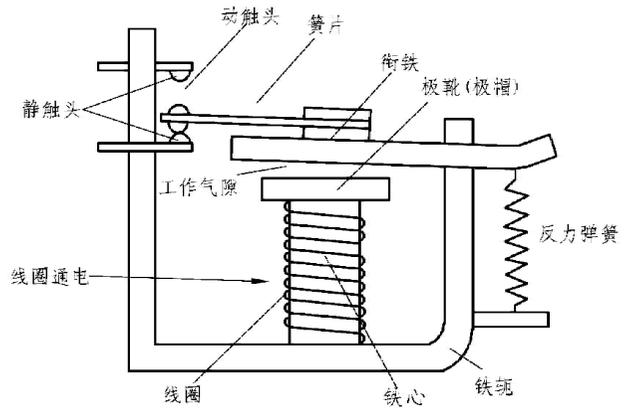


图 4.5 电磁式继电器的外观及结构示意图

继电器、电流继电器、中间继电器、时间继电器和信号继电器等。按照电流的不同，电磁式继电器还可以分为直流电磁式继电器和交流电磁式继电器。

1. 电流继电器

根据线圈中的电流大小，接通或断开电路的继电器称为电流继电器。电流继电器的输入量是电流信号，使用时电流继电器的线圈与负载电路串联。其特点是线圈匝数少而线径较大，阻抗小，分压小，不影响电路正常工作。电流继电器一般接在主回路中，起过电流保护作用。

在地铁车辆中，由于主回路中有牵引电机这样的负载，在工作过程中发生短路的情况是比较少的，而过流故障却是常有的。如牵引电机在大的启动电流下缓慢启动，电动机在反复短时工作制时的操作频率过高，牵引电机长期带负载欠压运行，电动机经常反

接、制动，等等，都易引起电机过载。而过载的出现会对电机的工作及绝缘性能产生较大的影响，甚至会引起重大火灾事故，所以必须加以防护。

电流继电器的结构如图 4.6 所示，其文字符号为 KC，图形符号如图 4.7 所示。

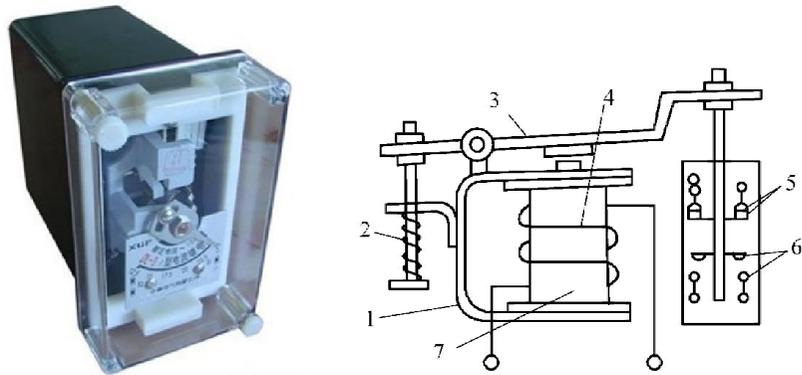


图 4.6 电流继电器的外观及结构示意图

1—磁轭；2—反力弹簧；3—衔铁；4—电流线圈；5—常闭触头；6—常开触头；7—铁心

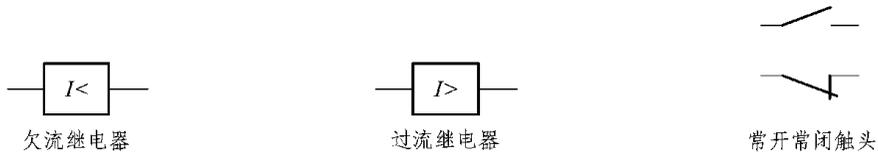


图 4.7 电流继电器图形符号

电流继电器的测量机构为一个拍合式电磁铁。当主回路正常工作时，由于工作电流远小于电流继电器的动作整定值，所以电流继电器处于释放状态，其常闭触头闭合，常开触头断开，主回路正常工作。当线圈中的电流超过整定值后，电磁吸力大于反力弹簧的拉力，静铁心吸引衔铁动作，使常闭触头断开，切断控制回路，从而保护了主回路。

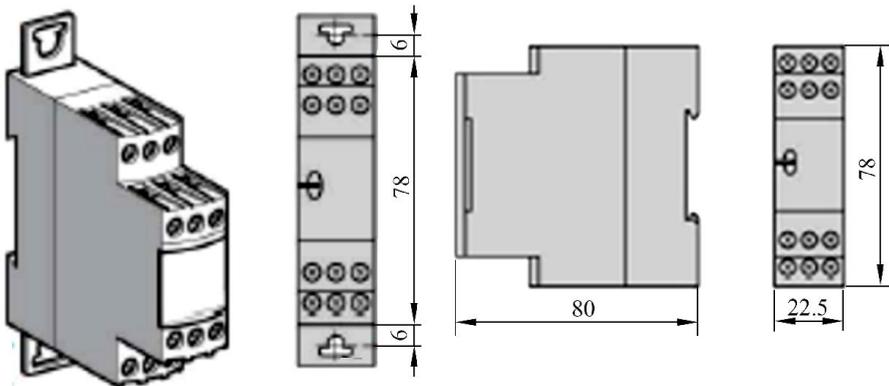
调节反力弹簧，可以调节电流继电器的动作电流值。

2. 电压继电器

电压继电器的输入量是电压信号，线圈匝数多而线径小。使用时电压继电器线圈与负载并联，主要作控制用。常用的有过电压继电器和欠电压继电器。RM4-U 型系列电压继电器如图 4.8 所示。



(a) 外形图



(b) 结构尺寸

图 4.8 RM4-UA01 型电压继电器

电压继电器的功能：当交流电压或直流电压超过设定限制值时，电压继电器吸合。

其前面板上有一个选择开关，可选择是用于欠压检测还是过压检测。在继电器的前面板上有一个透明挡板，用来防止对设定值的误操作（这个面板可直接封住）。

电压继电器的应用：直流电机的超速控制，蓄电池电压的监测，交流电源和直流电源监测。其测量范围是 50 mV ~ 500 V。

(1) 过电压继电器在电路电压为额定电压的 105% ~ 120% 时吸合，对电路实现过电压保护。

(2) 欠电压继电器在电路电压正常时吸合，当电路电压减小到额定电压的 50% 左右时释放，对电路实现欠电压保护。例如，地铁车辆的蓄电池采用欠电压保护继电器，当蓄电池电压低于 77 V 时，欠电压保护继电器动作释放，以保护蓄电池不受损害。

3. 中间继电器

中间继电器的作用是传递信号或同时控制多个电路，主要用于改变控制电路的工作状态，以增加触点的数目及容量，传递中间信号实现控制。其动作参数无须调整。中间

继电器的文字符号为 KA，图形符号如图 4.9 所示。

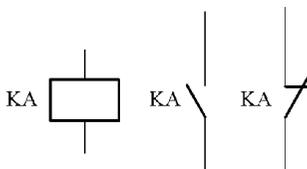
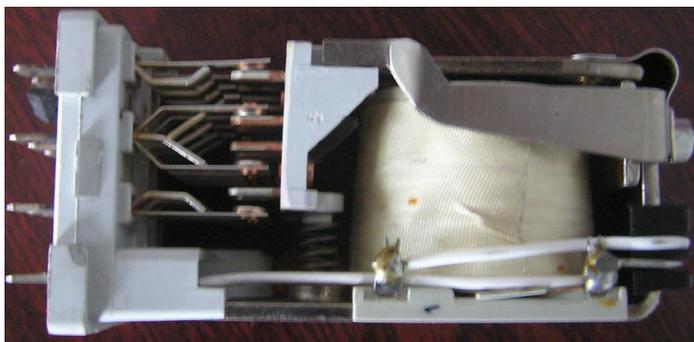


图 4.9 中间继电器的图形符号

城市地铁车辆中使用的 B400 型中间继电器结构如图 4.10 所示。



(a) 整体结构图



(b) 触点与簧片

图 4.10 B400 型中间继电器外形图

主要结构：固定铁心、动铁心、吸引线圈、触点簧片、动触点、静触点、接线端子及外壳等。

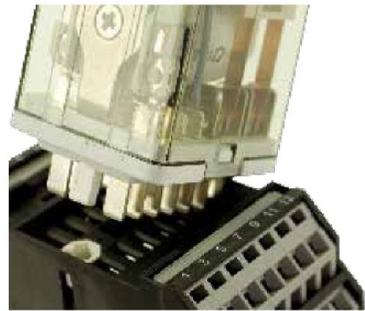
工作原理：线圈通直流电时，在电磁力的作用下，动铁心被吸向固定铁心，带动触点动作，使常开触点闭合，常闭触点断开。当线圈断电时，动铁心在弹簧的作用下复原，带动触点复位，即常开触点断开，常闭触点闭合。

主要特点：采用模块化结构，体积小，重量轻，动作灵敏、可靠，电气绝缘性能很好，等等。

图 4.11 所示为另一种地铁车辆所用的 D-U204 型中间继电器。



(a) 外形图



(b) 插接状态



(c) 继电器接口



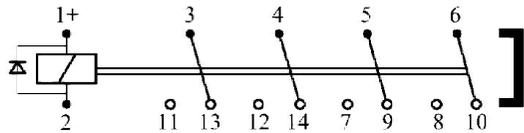
(d) 继电器插座

图 4.11 D-U204 型中间继电器

图 4.12 所示为其接线图，内部触点分布如下：1、2 为电源，3-13、4-14、5-9、6-10 为常闭触头，3-11、4-12、5-7、6-8 为常开触头。



(a) 面板



(b) 接线原理图

图 4.12 D-U204 型中间继电器接线原理图

4. 接地继电器

(1) 制动工况下的接地保护用接地继电器。

接地继电器主要用于制动工况下主回路中的接地保护。

接地继电器的结构与过流继电器基本相同，也是由拍合式的电磁机构和触头系统两大部分组成。在制动工况下，当主回路某处发生接地故障时，电流达到整定值 $0.2 \sim 0.3 \text{ A}$ 时，接地继电器动作，常闭触头打开，从而保护主回路不受故障的影响。

在北京地铁列车上使用的接地继电器的代号为 DJ，其保护原理如图 4.13 所示。当主回路无接地故障时，接地继电器 DJ 线圈无电流，因此接地继电器 DJ 处于释放状态。当主回路某处出现接地故障时，接地继电器 DJ 线圈有电流通过，电流达到整定值 $0.2 \sim 0.3 \text{ A}$ 时，接地继电器 DJ 动作，通过相应联锁切断主回路，达到了保护的目。

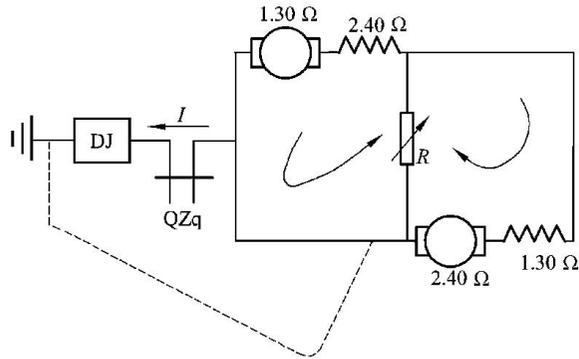


图 4.13 接地继电器的保护原理图

(2) 牵引工况下的接地保护用差动继电器。

主回路在牵引工况下的接地保护一般使用的是差动继电器 (用于所有牵引电动机串联的情况)。差动继电器属于拍合式电磁机构,它有两组线圈,即低压线圈和电流线圈(只有 2 匝),它是利用两组线圈的电流差而工作的。

差动继电器工作原理如图 4.14 所示。正常工作时,2 匝电流线圈通过的电流方向相反,产生的磁场方向相反,因此电磁吸力相互抵消,差动继电器不动作。

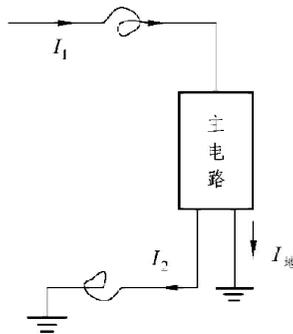


图 4.14 差动继电器工作原理图

牵引工况中，当主电路出现接地故障时，电流有泄漏（ $I_{地}$ ）， $I_1 = I_2 + I_{地}$ ，即 $I_1 > I_2$ ，使得电流线圈产生的电磁吸力不相等，在铁心周围产生的磁场吸力克服了弹簧的拉力，衔铁吸合，差动继电器动作（动作值为 80 A），常闭联锁打开，切断了主回路，达到了保护主电路的目的。

有的城市地铁车辆主回路采用接地电阻进行接地保护。

5. 时间继电器

时间继电器是接收信号后，经过一定时间才输出信号（即触头动作）的继电器，用以实现触头延时接通或断开。

1) 分 类

时间继电器的种类很多，除电磁式外，还有空气阻尼式和电子式时间继电器。电子式时间继电器按构成分为晶体管式和数字式两种，按输出形式分为有触头型和无触头型两种，按延时方式分为通电延时型和断电延时型。

（1）通电延时型时间继电器：接收输入信号（线圈通电）后，延时一定时间输出信号才发生变化，即延时一定时间后常开触头闭合，常闭触头断开；当输入信号消失后，输出信号瞬时复原。

（2）断电延时型时间继电器：接收输入信号（线圈通电）后，瞬时产生相应的输出

信号，即常开触头闭合，常闭触头断开；当输入信号消失后，延时一定时间输出信号才复原，即常开触头断开，常闭触头闭合。

时间继电器的文字符号为 KT，其结构示意图及图形符号如图 4.15 所示。

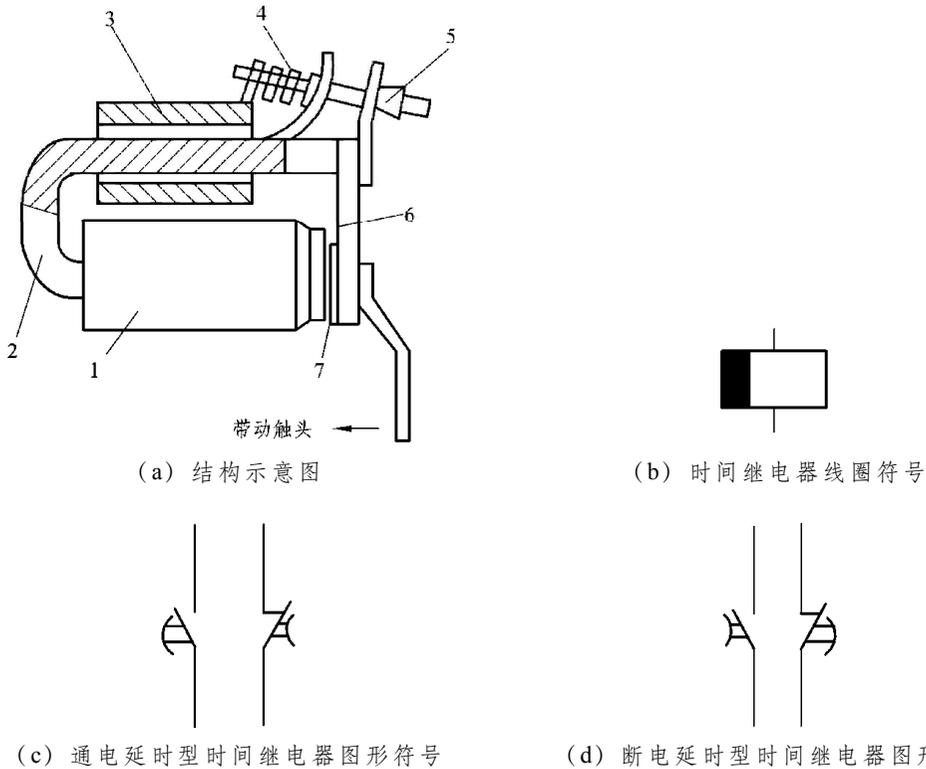


图 4.15 时间继电器的结构示意图、图形符号

1—线圈；2—铁心；3—阻尼套筒；4—反作用弹簧；5—调节螺钉；6—衔铁；7—非磁性垫片

2) 电磁式时间继电器

图 4.15 (a) 所示为断电延时型直流电磁式时间继电器，其铁心和磁轭为一体，采用圆柱形电工钢材制成，用铝基座浇注，可降低磁阻，有利于提高时间继电器的灵敏度。在磁轭上套装一个阻尼套筒（铜或铝），以达到断电延时的目的。

当线圈通电时，联锁触头动作是瞬时完成的，即常开触头闭合，常闭触头断开。

当线圈断电时，由于阻尼套筒内部产生感应电势，并流过感应电流，此电流产生的磁通与铁心中产生的主磁通方向相同，将阻止主磁通下降，使主磁通缓慢衰减，从而得到所需要的延时时间，最终使常开触头延时打开，常闭触头延时闭合。

图 4.16 所示为地铁车辆上使用的时间继电器的外形及结构。

(1) 基本结构：动、静铁心，吸引线圈，动、静触点，触点簧片，延时机构（电子电路），接线端子、调节旋钮及外壳等。

(2) 接线及调节：TDE4-U204 型电磁式时间继电器的接线图如图 4.17 所示。



(a) 外观

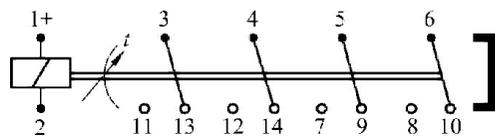


(b) 结构

图 4.16 TDE4-U204 型电磁式时间继电器的外形与结构



(a) 面板



(b) 接线原理图

图 4.17 TDE4-U204 型电磁式时间继电器接线原理图

在时间继电器上方的面板上有一个旋钮，如图 4.17(a) 所示。该旋钮用于延时量的设定。

(3) 延时原理：

时间继电器是带有延时机构的螺管线圈式继电器，具有交流和直流两种。交流继电器内部装有桥式整流器，将交流电源整流后供给电磁机构。每个时间继电器具有两对瞬时转换触点，一对滑动延时触点，一对延时主触点。

当线圈通电时，动铁心克服簧片的反作用力被吸向静铁心，则瞬时转换触点进行瞬时转换，同时延时机构启动，经过一定的延时，滑动延时触点和延时主触点闭合。主触点接触后由于上挡限制机构的转动，机构停止，从而得到所需延时。当线圈断电时，在簧片的作用下，动铁心和延时机构返回原位。

3) 空气阻尼式时间继电器

空气阻尼式时间继电器是利用空气阻尼原理获得延时的，它由电磁机构、延时机构和触头系统 3 部分组成。电磁机构为直动式双 E 形铁心，触头系统借用 LX5 型微动开关，延时机构采用气囊式阻尼器。

空气阻尼式时间继电器可以做成通电延时型，也可做成断电延时型；电磁机构可以是直流的，也可以是交流的，如图 4.18 所示。现以通电延时型时间继电器为例介绍其工作原理。

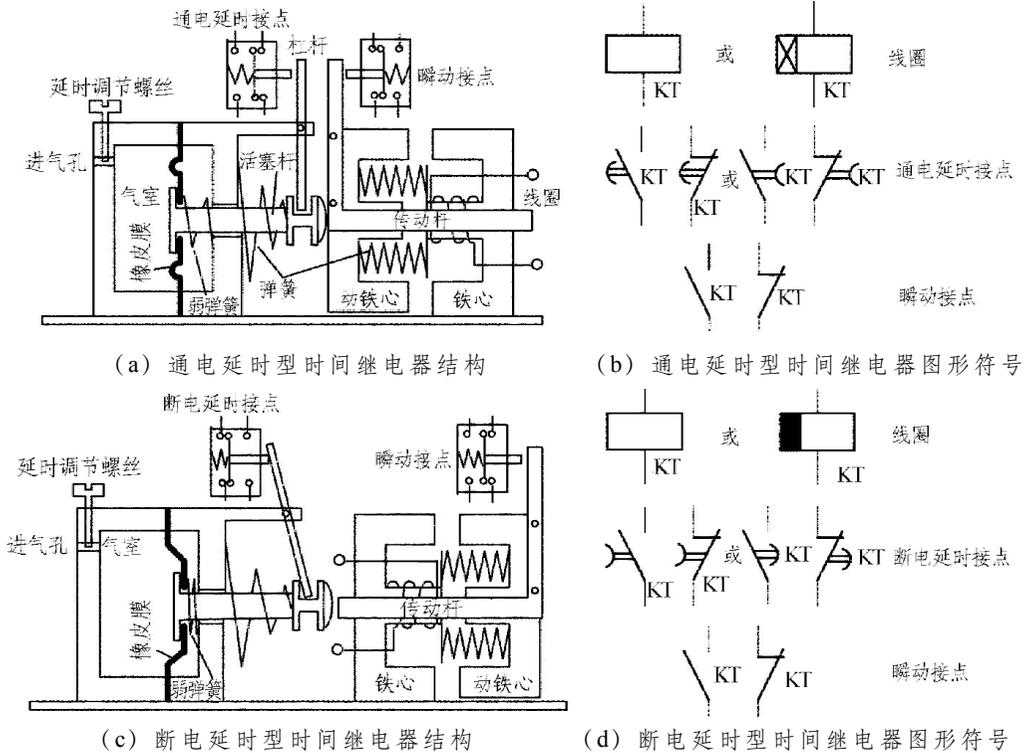


图 4.18 空气阻尼式时间继电器结构图及图形符号

图 4.18 (a) 所示通电延时型时间继电器为线圈不通电时的情况，当线圈通电后，动铁心吸合，带动 L 形传动杆向右运动，使瞬动接点受压，其接点瞬时动作。活塞杆在塔形弹簧的作用下，带动橡皮膜向右移动，弱弹簧将橡皮膜压在活塞上，橡皮膜左方的空气不能进入气室，形成负压，只能通过进气孔进气，因此活塞杆只能缓慢地向右移动，其移动的速度和进气孔的大小有关（通过延时调节螺丝调节进气孔的大小可改变延时时间）。经过一定的延时后，活塞杆移动到右端，通过杠杆压动微动开关（通电延时接点），使其常闭触头断开，常开触头闭合，起到通电延时的作用。

当线圈断电时，电磁吸力消失，动铁心在反力弹簧的作用下释放，并通过活塞杆将活塞推向左端，这时气室内的空气通过橡皮膜和活塞杆之间的缝隙排掉，瞬动接点和延时接点迅速复位，无延时。

如果将通电延时型时间继电器的电磁机构反向安装，就可以将其改为断电延时型时间继电器，如图 4.18 (c) 所示。线圈不通电时，塔形弹簧将橡皮膜和活塞杆推向右侧，杠杆将延时接点压下（注意，原来通电延时型的常开接点现在变成了断电延时型的常闭接点，原来通电延时型的常闭接点现在变成了断电延时型的常开接点）。当线圈通电时，动铁心带动 L 形传动杆向左运动，使瞬动接点瞬时动作，同时推动活塞杆向左运动。如前所述，活塞杆向左运动不延时，延时接点瞬时动作。线圈失电时动铁心在反力弹簧的作用下返回，瞬动接点瞬时动作，延时接点延时动作。

时间继电器线圈和延时接点的图形符号都有两种画法，线圈中的延时符号可以不画，接点中的延时符号可以画在左边，也可以画在右边，但是圆弧的方向不能改变，如图 4.17 (b)、(d) 所示。

空气阻尼式时间继电器的优点是结构简单、延时范围大、寿命长、价格低廉，且不受电源电压及频率波动的影响；其缺点是延时误差大、无调节刻度指示，一般适用于延时精度要求不高的场合。

4) 电子式时间继电器

目前，地铁车辆中已开始采用由单片机控制的电子式时间继电器，它由晶体管或集成电路和电子元件等构成，故又称为半导体时间继电器。它用微型大功率密封中间继电器作为执行单元，集成电路和元器件封装于一个金属盒内，具有延时范围广、精度高、