

1. 车辆电器按所接入的电路可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
2. 车辆电器按传动方式可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
3. 电器寿命是指\_\_\_\_\_。
4. 车辆电器在运行中会受到三个方向的振动，即\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。
5. 电器温度升高后，其本身温度与周围环境温度之差，称为\_\_\_\_\_。
6. 电器的允许温升是指\_\_\_\_\_。
7. \_\_\_\_\_是发热体的热量以电磁波的形式转移的过程。
8. \_\_\_\_\_是固体传热的主要方式。

## 二、判断题

1. 热辐射可以穿过任何物体。( )
2. 电器的长期工作制是指通电后连续工作到发热稳定，温升达到稳定值。( )
3. 电器的电动稳定性是指在一定时间内能承受短路电流而不发生损坏的能力。( )

## 三、简答题

1. 何谓电器？
2. 电器发热的原因有哪些？
3. 电器的不同工作制有什么区别？

# 第一章 电器触头

## 第一节 概 述

触头是电器的执行机构，用来直接接通或断开被控电路。

在电路中，通过触头相互接触的地方被称为电接触。电接触用于使电流由一个导体流到另一个导体上，完成电路接通任务，因此又叫作接触连接。触头是接触连接的一种形式。

### 一、触头的定义及其工作特点

在有触点电器中，直接接通和断开电路的零件称为触头。

触头是有触点电器完成其职能的执行机构。触头是成对出现的，固定不动的叫静触头，可以活动的叫动触头。电路是依靠动触头的动作来实现接通和断开的。

触头性能的好坏，将直接影响电器工作的可靠性，甚至会影响电动车辆的安全运行。电动车辆在运行过程中，特别是车辆通过道岔和起动、加速、制动时会引起较大的振动和冲击，从而引起电器的振动和冲击，可能导致紧固螺栓松动或触头误动作，造成电器工作时的误动作。触头的工作频率比较高，长期工作后触头本身温度上升，造成触头表面的氧化程度加剧，使接触电阻增加，从而使功率损耗增加，又使表面温升增加，形成恶性循环，最终使触头由于温度太高而发生熔焊，动、静触头熔化成一体而失去作用。由于空气中的尘埃、水分与油污会使触头表面锈蚀，加之发热及电弧等的有害作用，触头极易损坏。另外，触头通断电路时存在着电弧燃烧现象，易

烧伤触头表面，出现凹凸不平的毛刺，最后又易产生熔焊现象，使触头不能断开而失去触头的作用。由于上述各种原因，触头是有触点电器的薄弱环节。

## 二、触头的分类

触头的形状及接触形式多种多样，如图 1.1 所示。其具体分类方法如下：

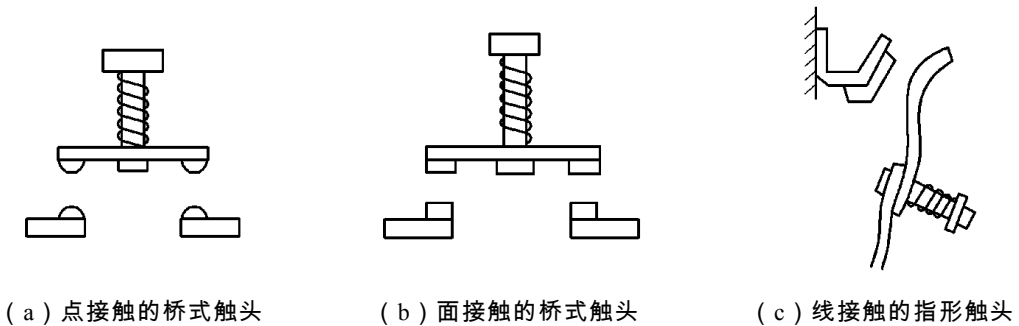


图 1.1 不同形状及接触形式的触头

### 1. 按触头的工作情况分

(1) 有载开闭触头：触头的分断、闭合过程中允许有电流通过。

(2) 无载开闭触头：触头在分断电路过程中不允许有电流通过，在接通后才允许有电流通过。因为无电分断不产生电弧，所以有利于触头的工作，可延长触头的使用寿命。

### 2. 按触头在电路中的用途分

(1) 主触头：用来接通或断开主要工作电路，如地铁车辆的主电路和辅助电路。

(2) 辅助触头：通常用在小电流的控制电路中，用以控制其他分支电路，实现地铁车辆所要求的某种电气联锁作用。辅助触头又称为联锁触头，有常开联锁触头和常闭联锁触头两种。

### 3. 按工作状态分

(1) 常开触头：电器线圈无电时，触头处于断开状态；电器线圈有电时，触头处于闭合

状态。

(2) 常闭触头：电器线圈无电时，触头处于闭合状态；电器线圈有电时，触头处于断开状态。

图 1.2 所示为常开、常闭触头的图形符号。



图 1.2 常开、常闭触头的图形符号

#### 4. 按结构形式分

(1) 指形触头：形状像大拇指。

(2) 桥式触头：形状像桥。

#### 5. 按接触形式分

(1) 点接触式触头：点与点接触或点与面接触的触头，如继电器触头和接触器的联锁触头；适用于电流在 10 A 以下的场合，一般用于控制电路。特点：接触面积小，散热条件差，接触电阻较大。

(2) 线接触式触头：圆柱与圆柱接触或圆柱与平面接触的触头，如接触器、自动开关及高压电器的触头；适用于电流在几十安培至几百安培的场合。特点：接触面积与接触压力均适中。

(3) 面接触式触头：平面与平面接触的触头，如大容量的闸刀开关等；适用于电流较大的场合。特点：接触面积与接触压力均较大。

图 1.3 所示为触头的三种接触形式。

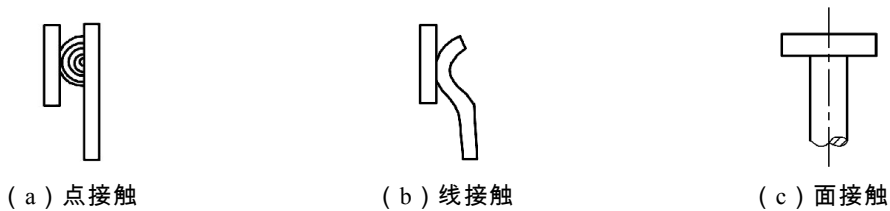


图 1.3 触头的接触形式

### 三、对触头的基本要求

根据触头的工作特点，为确保电器可靠工作，有足够的使用寿命，对触头必须有一定的要求。

- (1) 动、静触头要可靠接触，接触电阻要小。
- (2) 有足够的电动稳定性与热稳定性。
- (3) 导电性好。
- (4) 结构简单、紧凑，动作灵敏、准确。
- (5) 耐磨损。
- (6) 连续工作时，不应超过规定的允许温升。

总之，触头要能经受周围介质的影响，具有良好的工作性能，满足电路对它的要求。

### 四、触头的主要参数

触头的参数主要有开距、超程、压力和研距。下面以线接触式触头为例说明触头的主要参数。

#### 1. 开距 $S$

触头的开距是指触头处于断开位置时，动、静触头之间的最小距离，如图 1.4 (a) 所示。

开距是触头的一个重要参数。它不仅要保证在分断正常电流时能很快灭弧，而且要使触

头间具有一定的绝缘能力，经得起过电压的冲击。它不仅影响触头与灭弧系统的尺寸，而且影响电磁传动机构的尺寸。

## 2. 超程 $\gamma$

触头的超程是指触头闭合后，如果将静触头移出，动触头能继续向前移动的一段距离，如图 1.4 ( b )、( c ) 所示。触头的超程用来保证触头有一定的压力，并能在允许的磨损范围内可靠地工作。一般触头在磨损厚度的  $1/3$  或  $1/2$  之前仍能工作，因此在设计制造上必须有一定的超程。

## 3. 压力

触头压力是指两触头闭合后，其接触处所具有的压力。触头压力主要是由触头弹簧产生的。触头弹簧有一预压缩量，使得动触头和静触头在刚开始接触的瞬间就有互压力，称为触头的初压力。触头的初压力可以防止刚开始接触时的碰撞振动及电动斥力使两触头弹开。初压力的大小，取决于触头弹簧的预压缩量的大小。动触头与静触头接触終了时的压力称为终压力，其作用是使动、静触头实际接触面积增加，以减小接触电阻。它是由触头弹簧最终压缩量来决定的。

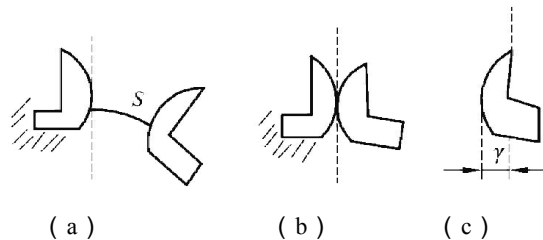


图 1.4 触头的开距及超程

## 4. 研磨过程及研距

如图 1.5 所示，一般线接触式触头的动、静触头开始接触时，其接触线在  $a$  点处。在触头闭合过程中，接触线逐渐移动，最后停在  $b$  点处，以导通工作电流。由于动触头上

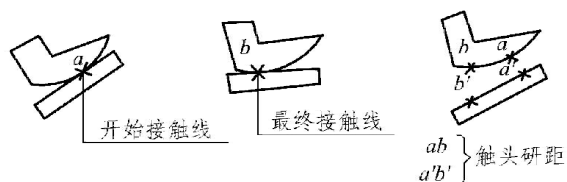


图 1.5 触头的研磨过程及研距

$ab$  和静触头上  $a'b'$  长度不一样，因此，在动、静触头接触过程中，不仅有相对滚动，而且有相对滑动，整个接触过程称为触头的研磨过程。由研磨所产生的距离称为研距。

研磨过程的作用是擦除触头表面的氧化层及脏污，减小接触电阻。通过研磨过程所产生的研距，可使正常工作的接触线与开始接触线错开，从而避免电弧烧损正常工作的接触线，保证正常工作接触线接触良好。

触头的开距、超程和压力都是在检修中必须进行检测的重要参数。在电器的使用和维修中常用这些参数来反映触头的工作情况及检验电器的工作状态。

## 五、触头的工作情况

### 1. 触头的闭合过程

触头在闭合过程中会因碰撞而产生机械振动，这个过程需要解决的主要问题是减小机械振动，从而减小触头的磨损，避免触头熔焊。

### 2. 触头处于闭合状态

触头处于闭合状态时的主要任务是保证规定的电流能通过，且触头温升不超过允许值。此时需解决的主要问题是控制触头的发热，提高热稳定性和电动稳定性。触头的发热是由接触电阻引起的，所以应设法减小接触电阻。

### 3. 触头的分断过程

触头的分断过程是触头最复杂的工作过程。当触头分断电路时，一般会在触头间产生电弧，这个过程需要解决的主要问题是熄灭电弧，减小由电弧而产生的触头电磨损。

### 4. 触头处于断开状态

触头处于断开状态时，必须有足够的开距，以保证可靠地熄灭电弧和分断电路。

## 复习思考题

### 一、填空题

1. 在有触点电器中，直接接通或断开电路的零件称为\_\_\_\_\_。
2. 触头的超程是指触头闭合后如果将\_\_\_\_\_拿走，\_\_\_\_\_可移动的距离。
3. 触头的接触形式可分为点接触、线接触和\_\_\_\_\_三种。
4. 开距是触头在开断情况下动、静触头之间的\_\_\_\_\_距离。
5. 有触点电器的触头在断开过程中要解决的核心问题是\_\_\_\_\_。
6. 当电器线圈通电时，闭合的辅助触头称为\_\_\_\_\_触头。

### 二、选择题

1. 触头的开距必须保证 ( )。  
A. 工作可靠  
B. 有足够的机械强度  
C. 减小接触电阻  
D. 抗腐蚀
2. 触头的 ( ) 是指在触头闭合后将静触头拿走，动触头可移动的距离。  
A. 研距  
B. 超程  
C. 开距  
D. 间距



3. 两个导体通过 ( ) 连接的方式相互接触，称电接触。

- A. 焊接                      B. 电弧                      C. 机械                      D. 并联

4. 电器存在研距既可以消除触头表面的氧化膜，又可使触头的 ( )。

- A. 接触线与工作线分开                      B. 接触线与工作线重合  
C. 接触压力变大                      D. 接触压力变小

5. 超程的存在，使触头在 ( ) 情况下，仍能有一定的终压力，以保证触头接触良好。

- A. 闭合过程中                      B. 研磨                      C. 磨损                      D. 刚接触时

6. 触头具有初压力可以防止刚接触时的碰撞振动及 ( ) 使两触头弹开，触头终压力

使得实际接触面积增加，接触电阻减小。

- A. 机械力                      B. 电磁吸力                      C. 电动斥力                      D. 热作用力

7. 有触点电器的触头在闭合状态时要解决的核心问题是 ( )。

- A. 电弧的熄灭                      B. 机械振动                      C. 触头的发热                      D. 无害振动

### 三、选择题

1. 触头在相对运动时，触头间只有滑动或滚动，两种运动状态不会同时出现。( )

2. 触头在开断电路时要解决灭弧的问题。( )

3. 触头在开闭过程中有研磨，可以去除氧化膜。( )

4. 有触点电器的触头处于断开状态时，要解决的核心问题是确定开距以实现可靠的电隔离。( )

5. 触头是各类接触器和继电器中的关键零件，电路的接通和断开都是依靠触头的接触和

分离实现的。( )

6. 触头的终压力可以减少触头闭合过程中的振动。( )

7. 电器的无载开闭是指触头在断开或闭合过程中，不允许有电流通过。( )

#### 四、问答题

1. 什么是电接触？

2. 什么叫触头？触头有哪些主要参数？叙述其主要作用。

3. 什么叫电器触头的开距？触头为什么要有开距？

## 第二节 触头的接触电阻

当动、静触头相接触时，除两触头的电阻外，还在它们的接触处产生一个附加电阻，这个附加电阻就是接触电阻。

### 一、接触电阻的产生

两个导电零件接触在一起实现电的连接，其导电能力显然比同样尺寸的完整导体要差。

如图 1.6 ( a ) 所示是一段完整的导体，通以电流  $I$ ，用电压表测得其  $AB$  长度上的电压降为  $U$ ，则  $AB$  段导体的电阻

$$R = \frac{U}{I}$$

若将此导体截断，如图 1.6 ( b ) 所示，仍通以原来的电流  $I$ ，测得  $A$ 、 $B$  两点之间的电压降为  $U_c$ ， $U_c$  比  $U$  大得多，则  $A$ 、 $B$  两点之间的电阻为

$$R_c = \frac{U_c}{I}$$

$R_c$  除含有该段导体材料的电阻  $R$  外，还有附加电阻  $R_j$ ，即

$$R_c = R + R_j$$

我们把由导体相接触而产生的附加电阻  $R_j$  称为接触电阻。动、静触头接触时同样也存在接触电阻。接触电阻  $R_j$  由收缩电阻  $R_s$  和表面膜电阻  $R_b$  组成，即

$$R_j = R_s + R_b$$

### 1. 收缩电阻的产生

接触处的表面无论经过多么精细的加工处理，从微观角度分析，总是凹凸不平的，接触面积实际上远小于触头表面积，因为只有若干小的突起部分相接触。当电流通过实际接触面时，电流只从接触点上通过，在这些接触点附近，迫使电流线发生收缩，如图 1.7 所示。这种由于接触面积骤然减小引起电流线收缩而产生的附加电阻称为收缩电阻，通常用  $R_s$  表示。

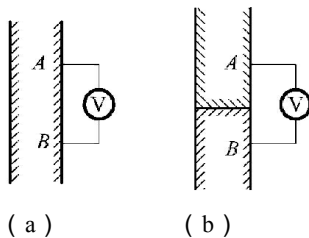


图 1.6 接触电阻

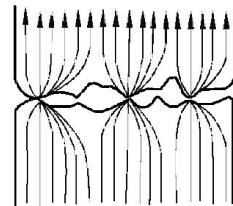


图 1.7 触头接触处放大示意图

### 2. 膜电阻的产生

触头导体的接触表面因暴露在空气中而会受到氧化作用，在接触处形成的氧化膜以及落在接触表面上的灰尘、污物或夹在接触面间的油膜、水膜等，都会使触头导电性能下降。当在接触面加以互压力后，有些接触点的氧化膜被挤掉，可以导通电流，而有些接触点的氧化薄膜仍存在，所以接触面有效导电面积更小，使有效电阻增加。这种由于氧化作用或脏污而

产生的附加电阻称为膜电阻，通常用  $R_m$  表示。膜电阻还与薄膜的厚度有关，薄膜越厚，电阻越大。

由于收缩电阻和膜电阻是由接触体之间直接产生的电阻，故称为接触电阻。

电器的触头不论是点接触、线接触还是面接触，在接触点处总是存在着接触电阻。接触电阻的存在，使接触点的温度升高，而温度越高则接触电阻越大。当温度过高时，触点的金属软化，甚至熔化，造成动、静触点熔焊在一起。

## 二、影响接触电阻的因素

通常人们希望得到低值而稳定的接触电阻，以保证触头的可靠工作。影响接触电阻的因素有接触压力、温度、化学腐蚀、触头表面情况、触头材料等。

### 1. 接触压力

加大压力可使接触电阻  $R_j$  减小。当压力很小时，接触压力的微小变化都会使接触电阻值产生很大的波动；但当压力达到一定值后，接触电阻受压力变化的影响甚微。这是因为在压力作用下，两表面接触处产生弹性形变，压力增大，形变增加，有效接触面积增加，收缩电阻减小。而当压力达到一定值后，收缩电阻几乎不变，这是因为材料的弹性形变是有一定限度的，因而接触面积的增加也是有限的，故接触电阻不可能完全消除。

### 2. 温 度

接触点温度升高后，金属的电阻率会有所增加，但材料的硬度会有所降低，使得有效接触面积增大。前者使收缩电阻  $R_s$  增大，后者使收缩电阻  $R_s$  减小，互相补偿，所以接触电阻变化甚微。但是，当触头电流长期超过额定值时，温度升高，引起接触面氧化，接触电阻则急剧上升，发热

加剧，形成恶性循环。为保证接触电阻稳定，电接触的长期工作允许温度规定得较低。

### 3. 化学腐蚀

单纯由化学作用引起的腐蚀称为化学腐蚀，如金属与干燥气体接触时，在金属表面生成相应的化合物，如氧化物、硫化物、氯化物等。

暴露在空气中的接触面（除铂和金外）都会被氧化。空气中的铜触头在室温下（20~30℃）即开始氧化，但其氧化膜很薄，在触头彼此压紧的过程中就被破坏，故对接触电阻影响不大。而当温度高于70℃时，铜触头氧化加剧，氧化铜的导电性能很差，使膜电阻急剧增加。因此，铜触头的允许温升都是很低的。银被氧化后的导电能力与纯银差不多，所以银或镀银的触头工作很稳定。

为减少接触面的氧化，可以将触头表面搪锡或镀银，以获得较稳定的接触电阻。

采用不同的金属作为触头对时，由于金属接触处有电位差，当湿度大时，在触头对的接触处会发生电解作用，引起触头的化学腐蚀，使接触电阻增加。

常用金属材料的电化顺序是金（Au）→铂（Pt）→银（Ag）→铜（Cu）→[氢（H）]→锡（Sn）→镍（Ni）→镉（Cd）→铁（Fe）→铬（Cr）→锌（Zn）→铝（Al）。规定氢的电化电位为0，在它后面的金属具有不同的负电位（如Al的电化电位为-1.34V），在它前面的金属具有不同的正电位（如Ag的电化电位为+8V）。选取触头对时，应选取电化顺序中位置靠近的金属，以减小电化电势，如不宜采用铝和铜作为触头对。电镀层或涂层也要注意电化顺序。

### 4. 接触表面粗糙度

接触表面粗糙度对接触电阻有一定的影响。接触表面可以粗加工，也可以精加工，至于

采用哪种方式加工更好，要根据负荷大小、接触形式和用途而定。

对于大、中功率电器，触头电流较大，其表面不要求精加工，最好用锉刀加工，重要的是平整。两个平整而较粗糙的平面接触在一起，接触点数目较多且稳定，并能有效地清除氧化膜。相反，精加工的表面，当装配稍有歪斜时，接触点的数目明显减小。

对于某些小功率电器，触头电流小到毫安以下，为了保证接触电阻小而稳定，则要求触头表面粗糙度低。粗糙度低的触头不易受污染，也不易形成膜电阻。为达到这样低的粗糙度，往往采用机械、电或化学抛光等工艺。

### 5. 触头材料

触头材料的电阻系数大，则接触电阻大。触头材料抗压强度越小，在同样接触压力下得到的实际接触面积就越大，接触电阻就越小。因此在接触连接处，常用较软的金属覆盖在硬金属上，以获得较好的工作性能，如铜触头搪锡等。

银的电阻率小于铜，但银比铜贵，所以采用铜表面镀银的工艺。

铝在常温下几秒内就被氧化，氧化膜电阻较大。铝一般只用作固定连接，并常在其表面覆盖银、铜、锡等以减小接触电阻。

## 三、减小接触电阻的方法

根据接触电阻的形成原因，减小接触电阻一般可采用下列方法：

(1) 增加接触点数目。选择适当的接触形式，用适当的方法加工接触表面，在接触处施加一定的压力，均可增加接触点数目。

(2) 选用电阻系数小，且不易氧化或氧化膜电阻较小的材料作为触头材料，或作为接触

面的覆盖层。

(3) 触头在开闭过程中应有研磨过程，以擦去氧化膜。

## 复习思考题

### 一、填空题

1. 两个导体相互接触时，在它们之间产生的\_\_\_\_\_叫接触电阻。
2. 接触电阻由\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_两部分组成。

### 二、选择题

1. 接触电阻与接触压力的关系应该是 ( )。  
A. 随压力增加而增加  
B. 随压力增加而降低  
C. 在一定范围内随压力增加而增加  
D. 在一定范围内随压力增加而降低
2. 减小电器触头接触电阻的方法有 ( )。  
A. 增加接触点数目  
B. 加快触头闭合速度  
C. 提高触头材料的刚度  
D. 增大触头质量
3. 触头的终压力能够 ( )。  
A. 灭弧  
B. 减小接触电阻  
C. 防振  
D. 保证触头有足够的机械强度
4. 下列触头对中不合理的是 ( )。  
A. 金-铝  
B. 银-铜  
C. 锡-镍  
D. 铂-银

### 三、判断题

1. 接触电阻随外加压力的增大而增大。( )

2. 触头的温度升高，其接触电阻减小。( )
3. 增加触头接触点的数目，将使接触电阻增大。( )

#### 四、问答题

1. 什么是收缩电阻？
2. 影响接触电阻的因素有哪些？
3. 减小接触电阻的方法有哪些？

### 第三节 触头的振动

#### 一、产生振动的原因

触头从刚开始接触到完全闭合，是有一个过程的，这个过程称为触头的闭合过程。触头闭合过程中，动、静触头间的碰撞，衔铁与铁心的碰撞以及电动斥力的作用，都将引起触头的机械振动。

当触头闭合时，电器传动机构的力直接作用在动触头支架上，具有一定质量  $m$  的动触头以一定速度  $v_1$  向静触头运动，在动、静触头相撞时，动触头具有一定的动能  $mv_1^2/2$ ，如图 1.8 (a) 所示。触头发生碰撞后，触头表面将产生弹性形变，由于静触头固定不动，撞击后，动触头就会受反作用力的作用以速度  $v_2$  弹回，如图 1.8 (b) 所示。当动触头离开静触头时，触头弹簧压缩，将动能储存在弹簧中。与此同时，传动机构继续推动触头支架向静触头方向运动，进一步压缩弹簧。当动触头反弹的速度降为零时，反弹距离达到最大值  $x_m$ ，如图 1.8 (c) 所示。随后，动触头在弹簧张力作用下又开始向静触头运动，触头间发生第二次碰撞和反弹，



但速度已减小。

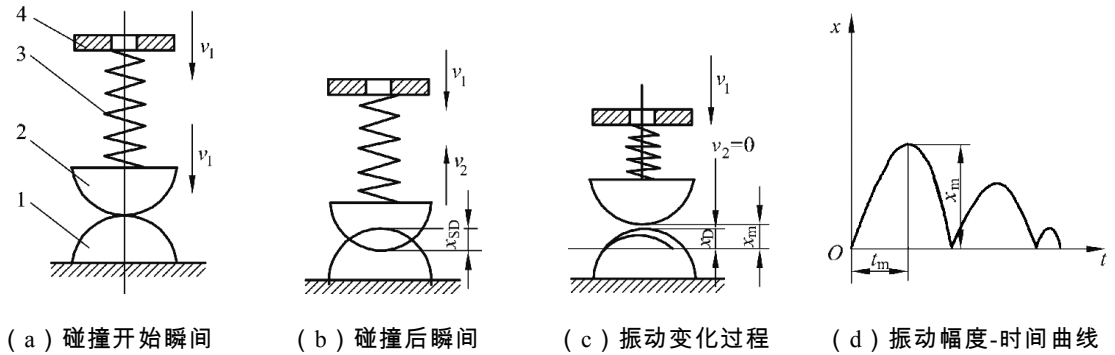


图 1.8 触头振动过程示意图

1—静触头；2—动触头；3—触头弹簧；4—动触头支架； $x_{SD}$ —塑性和弹性变形量； $x_D$ —弹性变形量； $x_m$ —最大振幅

由于触头每一次碰撞和反弹都要消耗一部分能量，且在碰撞和反弹的过程中，传动机构会使触头弹簧进一步压缩，因此动触头所具有的动能较前一次小，振动的振幅也减小。以后每次振动的时间和振幅，后一次均比前一次要小，直至振动停止，触头完全闭合，如图 1.8 (d) 所示。

对于电磁传动的电器来说，在触头闭合过程中，衔铁会以一定速度向静铁心运动，磁系统同样会发生振动，以致触头又发生第二次振动。这种振动所引起的触头磨损常比上述触头碰撞引起的要大。在闭合过程中，通常是触头先接触，然后衔铁才完全闭合。因为触头刚接触时，回路中总具有一些电感，电流不是立即达到稳定值，而是当衔铁完全闭合时，电流才达到稳定值，如果此时由于衔铁振动而引起触头振动，则触头分断的电流就比较大，以致电磨损也增大，所以电磁铁所引起的触头振动是更为有害的。

除上述原因外，在触头闭合通过电流时，在触头间有电动力存在。这是因为触头表面实际接触的只有几个点，因此在接触点处便产生电流的密集或弯曲（见图 1.7），畸变的电流线

相互作用便产生试图将触头分开的电动斥力。在工作电流或短路电流较大的场合，电动斥力的作用尤为显著，这也是触头产生振动的原因。

在触头的振动过程中，若碰撞后触头不会分开，这样的振动不会产生电弧，因而称之为无害振动；若碰撞后触头分开，在触头间隙中会出现金属桥，造成触头磨损或熔焊，甚至产生电弧，严重影响触头寿命，因此称此类振动为有害振动。

## 二、减小振动的方法

振动次数越多，时间越长，则触头磨损越大。为了减少振动次数和减小振动振幅，延长触头的使用寿命，可采取以下措施：

(1) 增大触头的初压力。当触头以一定的速度冲向静触头而被弹回时，触头弹簧产生的预压力（初压力）就产生反作用力，使弹回的距离缩短，且次数减少，则磨损减小。但初压力的增大是有限的。

(2) 增大触头弹簧的刚度。这主要是使弹簧能吸收更多的碰撞动能，减小振动时的振幅及减少振动时间。

(3) 减小动触头的闭合速度。这样做的目的是减小碰撞动能。由实验可知，减小动触头闭合瞬间的速度可以减小振动的振幅。但必须注意，当触头回路电压高于 300 V 时，若闭合速度过小，则在动、静触头靠近时，触头间隙会被击穿而形成电弧，反而会引起电磨损增加。

(4) 减小动触头的质量。减小动触头的质量也可以减小碰撞动能，从而减小触头振动的振幅。但是减小动触头质量还必须考虑触头的机械强度和散热面积等方面的问题。

(5) 对于电磁式电器而言，可减小衔铁和静铁心碰撞时引起的磁系统的振动，以减小触

头的二次振动。在铁心上增加缓冲弹簧是其中的方法之一。

综上所述，增加触头压力，增大触头弹簧的刚度，减小动触头的闭合速度，减小动触头系统的质量，均能减小振动振幅及减少振动次数。

### 三、熔焊的概念

触头的熔焊主要发生在触头闭合有载电路的过程中（由振动引起）和触头处于闭合状态时（由接触电阻引起）。

在触头闭合过程中，触头的机械振动使触头间产生电弧。电弧的高温作用，使触头表面金属熔化。当触头最终闭合时，这些熔化金属可能凝结而引起熔接，使动、静触头熔焊在一起。

在触头处于闭合状态时，若通过过大的电流，会使触头接触处温度升高。如果温度达到熔化温度，两触头接触处的材料便熔化并结合在一起，使接触电阻迅速下降，其损耗和温度都下降，于是熔化的金属可能凝结而引起熔接。

这种由热效应引起的触头熔接，称为触头的“熔焊”。

### 复习思考题

#### 一、填空题

1. 电器的触头具有初压力可以防止动、静触头刚接触时的\_\_\_\_\_及电动斥力使两触头弹开，触头终压力可使得实际接触面积增加，接触电阻减小。
2. 触头闭合电流后，触头间还会有\_\_\_\_\_存在，它也是产生振动的原因之一。
3. 触头的熔焊主要发生在\_\_\_\_\_和\_\_\_\_\_。

## 二、判断题

1. 减小动触头的质量，以减小碰撞动能，从而可以减小触头的振动。( )
2. 触头闭合时的磨损主要由触头在闭合过程中的振动引起。( )
3. 触头的初压力只能加大触头的振动。( )
4. 有触点电器的触头在闭合过程中要解决的核心问题是触头的有害振动。( )

## 三、问答题

1. 分析触头振动的原因并提出减小振动的方法。
2. 什么是有害振动？
3. 什么是触头的熔焊？触头工作在哪个状态可能发生熔焊？

# 第四节 触头的磨损

## 一、触头磨损的原因

触头在多次接通与断开有载电路之后，它的接触表面会逐渐产生磨耗和损坏。触头磨损达到一定程度后（约为超程的一半），其工作性能便不能得到保证，此时，触头的寿命即告终结。若触头经过规定的带电操作而达到寿命终结，则其操作次数称为电气寿命。继电器和接触器的电气寿命主要取决于触头的寿命。

触头的磨损分为机械磨损、化学磨损和电磨损。机械磨损是由触头的研磨和机械撞击所致。化学磨损是由氧化及电腐蚀等所致。电磨损主要发生在触头的闭合和开断过程中。在触头闭合电流时产生的电磨损，主要是由触头碰撞引起的振动所造成的；在触头开断电流时产

生的电磨损,是由高温电弧所造成的。在三种磨损中,前两种磨损很小,约占全部磨损的10%,后一种占90%。

触头分断过程中,在触头刚分离时,触头间的接触面积越来越小,接触电阻越来越大,这样就使接触点的电流密度急剧增加,触头表面的温度剧增,由此产生的热量促使接触处的金属熔化,形成所谓的金属液滴。触头继续断开时,将金属液滴拉长,形成液态金属桥,简称液桥。在电动力的作用下,金属溶液由阳极转移到阴极,即金属转移。随着触头的继续分离,金属桥最后被拉断,在一定的电参数下,触头间便产生了电弧。刚出现电弧时两触头间的缝隙很窄,电弧运动阻力很大,电弧在触头面上运动的速度很小,使触头继续熔化而产生电磨损。为了减小此过程的电磨损,应采用各种不同的灭弧装置,同时采用耐电磨损的触头材料。

在弱电流电器(如继电器)中,液桥对触头的电磨损有着重要的影响。

## 二、触头的磨损形式

在触头分断与闭合电路的过程中,在触头间隙中产生金属液桥、电弧等现象,引起触头材料的金属转移、汽化和喷溅,使触头材料损耗和变形,这种现象称为触头的电磨损。电磨损直接影响电器的寿命。

触头的电磨损有两种形式:

(1) 液桥的形成和金属转移。由上述分析可知,液桥的形成和金属转移发生在触头的分断过程中,先是触头的接触压力减小和接触点数目减少,使接触电阻越来越大,从而使热量集中的接触处金属熔化,后是形成液态金属桥,接着在电动力的作用下发生金属转移。经过多次操作后,动、静触头表面会形成凹坑和尖刺,从而产生电磨损。