

电 力 机 车 丛 书

调 压 开 关

严秀珍 编

中 国 铁 道 出 版 社

1987年·北京

内 容 简 介

本书共分六章，主要介绍调压开关的结构、原理，并结合国内电力机车调压开关介绍了具体的设计计算方法。最后介绍了调压开关的试验方法、常见故障及维护保养等。

电力机车丛书

调压开关

严秀珍 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 张贵珍 封面设计 刘景山

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168毫米 1/32 印张：6.125 字数：150 千

1987年5月第1版 第1次印刷

印数：0001—5,000册 定价：1.40元

目 录

第一章 概 述	1
一、调压开关的用途	1
二、调压开关的类型	2
三、采用调压开关机车的优缺点	3
第二章 调压开关的结构原理	5
一、调压开关传动系统	5
二、调压开关触头系统	12
三、调压开关级位显示系统	38
四、高压调压开关	40
五、低压调压开关	48
第三章 TKT ₁ -2100/2040型调压开关	53
一、调压原理	53
二、调压开关结构	62
三、TKT ₁ -2100/2040型调压开关的传动控制	141
四、调压开关的保护装置	145
第四章 TKT ₃ -3300/2220型调压开关	148
一、调压原理	148
二、结构与动作过程	158
第五章 TKT ₁ -2100/2040型和TKT ₃ -3300/2222 型 调压开 关的试验	165
一、例行试验	165
二、型式试验	169
第六章 TKT ₁ -2100/2040型和 TKT ₃ -3300/2222 型调压开 关的装配	175
第七章 调压开关的维护、保养和常见故障	180

一、调压开关的维护、保养	180
二、常见故障	181
第八章 调压开关设计程序	185
一、方案设计	185
二、施工设计	186
参考文献	187

第一章 概 述

一、调压开关的用途

电力机车（包括电动车组和地铁车辆，以下统称机车）是利用牵引电动机将电能转换为机械能，而使其得到运动速度的。它的速度决定于牵引电动机的转速，电动机的转速公式为

$$n = \frac{U - IR}{C_e \Phi} \quad (\text{r/min})$$

由上式可知，改变牵引电动机的外加电压 U ，便可改变电动机的转速，从而得到不同的机车速度。调压开关就是用来调节牵引变压器（或调压电阻）输出电压的电器设备。

调压开关可以用在交流电力机车上，也可用在直流电力机车上。在交流电力机车上它与牵引变压器调压用的绕组抽头相连；在直流电力机车上它与调压电阻的抽头相连。与它配合使用的牵引电动机是直流或脉流电动机。本书重点介绍交流电力机车上使用的调压开关。

在交流电力机车上用调压开关可以使机车得到有级或级间无级两种调速方式。有级调速——牵引变压器的输出电压是逐级增加或减少，机车的速度也逐级增加或减少，机车的主要调速设备是调压开关。如国产韶山1型、韶山2型、法国的6Y₂型、罗马尼亚的6G101和6G102型、日本的ED75和ED76型等机车都是这种调速方式。级间无级调速——把牵引变压器调压绕组分成几大段，每段之间进行平滑可控调节，当调压绕组增加或减少时，输出电压不会突然增加一段绕组的电压，也不会突然减少一段绕组的电压，而是平滑无级的改变输出电压，当然机车的速度也是平滑的改变。这种调速方式的机车，它的主要调速设备是调压开关 + 晶闸管电路（或 + 磁放大器电路）。属于这种类型的机车如国产

的韶山3型、日本的ED76500和ED75700型等。

二、调压开关的类型

调压开关有高压侧调压开关和低压侧调压开关两种：

高压侧调压开关——与牵引变压器原边（即高压侧）绕组相连，改变原边电压，即可改变副边输出电压。

低压侧调压开关——与牵引变压器副边（即低压侧）绕组相连，可直接改变副边的输出电压。

用高压侧调压开关的机车有早期国产的韶山2型、日本的ED71、ED72、ED73、ED74及EF70型、罗马尼亚的6G101和6G102型、瑞士的Re4/4Ⅱ、Ⅲ型、Re6/6型和联邦德国的E111型等。

用低压侧调压开关的机车有国产的韶山1型和3型、日本的ED75和ED76型等。

现在各国电力机车这两种调压方式都仍在采用，因为它们各有不同的优缺点。高、低压侧调压开关比较如下：

1. 在相同功率的情况下，高压侧调压开关（以下简称高压调压开关）流过的电流比低压调压开关小。因此，触头及导电体截面小，设备的尺寸和重量相应减小，结构亦可简单。尤其在大功率的机车上，变压器低压侧的电流相当大，低压调压开关的制造比较困难，就可使用高压调压开关。

2. 由于高压调压开关使用的触头等导电体尺寸较小，相应地可比低压调压开关用的触头多，因而易获得较多的运行级。这样，使机车起动时电压变化较平稳，机车粘着重量利用率好。

3. 高压调压开关因电压高，安装时它与周围物体必须有一定的绝缘距离，这样在调压器布置上有一定困难。

4. 高压调压开关使变压器结构复杂，重量加大，体积也增大。

5. 高压调压开关加工工艺和零部件精度都比低压调压开关要求高。

6. 高压调压开关的功率因数比低压调压开关低。

综上所述，低压调压开关除要克服大电流造成的困难外，其余各方面都不比高压调压开关差。根据我国目前的工业水平，制造低压调压开关比高压调压开关为宜。

三、采用调压开关机车的优缺点

在电力机车上，若用改变牵引电动机端电压的方法进行机车调速时，机车主电路基本上有三种方案：即只用调压开关的有级调压、调压开关+晶闸管电路（或磁放大器电路）的级间无级调压和晶闸管无级调压。这三种不同主电路的机车其优缺点比较如下：

1. 采用调压开关有级调压的机车，其最大的优点是机车功率因数高，对通讯的等效干扰电流小。另外，调压开关相对地说比其他两种机车调速设备的结构简单及成本低，制造和维修也较容易。缺点是输出电压逐级改变，因此机车功率和速度变化不平滑，牵引力改变时有一定的冲击力。

2. 采用晶闸管相控无级调压的机车，其突出的优点是功率和速度变化平滑，冲击力小，主电路开关电器的动作次数少，因而机械和电磨损显著下降。据统计晶闸管机车比一般机车的电器动作次数减少250倍。晶闸管机车主要的缺点是功率因数低，对通讯干扰大。采用多段桥顺序相控可以克服这些缺点，段数越多，功率因数也越高，但段数多使线路结构过分复杂，成本增高。即使是8段半控桥的晶闸管机车其指标也赶不上用调压开关的整流器机车。段数与功率因数等的关系根据国外试验结果大致如表1—1所示。

3. 采用调压开关+晶闸管电路（或磁放大器电路）的级间无级调压的机车，具有调压开关机车功率因数高，整流电压脉动和对通讯干扰小的优点，又具有平滑无级调压、电流冲击小、能充分利用机车粘着牵引力的优点。另外，触头开断时基本不带电弧，可减少触头的电磨损。成本也比晶闸管相控机车低。因此在

日本采用这种方式的机车占机车总台数的70%以上。

绕组段数与功率因数及等效干扰电流的关系 表 1—1

段 数	功率因数	等效干扰电流
2 段半控桥	0.65~0.85	17A左右
4 段半控桥	0.74~0.82	10A左右
8 段半控桥	>0.82	3 A左右
调压开关机车	>0.82	2 A左右

综上所述不难看出，采用调压开关可以使机车具有很多优点，尤其是目前要获得大功率、性能可靠、成本低廉的晶闸管元件，还不能立即或短期内实现的情况下，发展和完善各种调压开关机车是不可忽视的。

第二章 调压开关的结构原理

调压开关是组合传动电器，就是用机械偶合机构驱动一组触头使其按一定程序闭合或断开，这些偶合机构一般是装在同一根轴上的凸轮片，轴由动力传动装置进行驱动。

调压开关由下列几部分组成：传动系统；触头系统（包括灭弧装置）；级位显示系统。具体结构分析将在下面分别介绍。

一、调压开关传动系统

在电力机车上调压开关的动力源是电力和压缩空气，目前各国采用最为广泛的传动方式有电一空传动和电动机传动两种。

（一）电一空传动

为满足不同的传动要求，电一空传动装置有各种形式。图 2—1 所示为四种具有二位置气缸传动的机构。用电空阀控制两个气门，使气缸与气源接通或把气缸中的压缩空气排向大气，以得到转轴的两个转角位置。图 2—1 (a)、(b)、(c) 所示的结构较为简单，但要加缓冲装置，否则冲击力较大。图 2—1 (d) 所示由于带有齿轮，结构较复杂，但能获得较大的转角。

图 2—2 所示为两种具有三位置气缸的传动机构。用电空阀控制三个气门，按要求使三个气门充气或排气，便可以得到转轴三个不同的转角位置。图 2—2 (a) 的结构体积小，但气缸制造较为复杂；图 2—2 (b) 结构的气缸制造简单，但要用两个气缸，所以体积大。

在多位置电一空传动中，目前采用最多的是雷希托夫传动机构，这种机构的作用原理如图 2—3 所示。当活塞从右向左移动时，滚子 3 作用在与转轴相连的偏心星形凸轮下侧，使凸轮以及与此凸轮相连的主轴逆时针方向旋转，一直到滚子 3 卡在两个

突缘之间为止。这是传动机构的一个工作位置。若要传动机构再转入下一个工作位置，则只需接通左边的电空阀，使左边气缸与压缩空气相通，此时滚子4作用在星形凸轮上侧，使凸轮再沿逆时针方向转一个角度。根据以上动作原理，若左右两个气缸轮流通以压缩空气，则可以得到各个不同的工作位置。

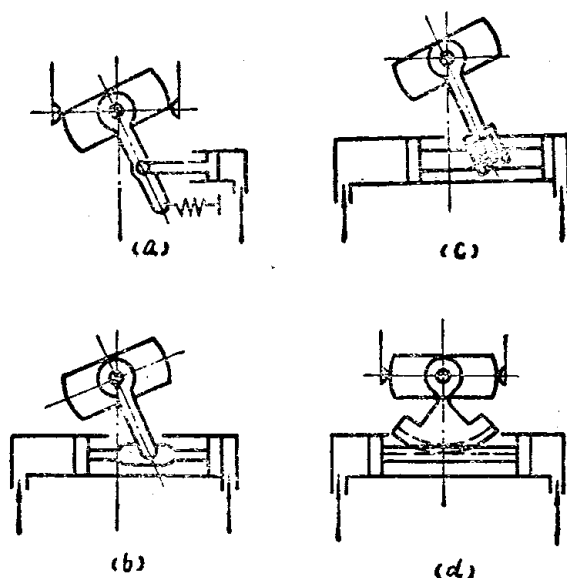


图 2—1 二位置气缸传动机构

这种传动机构的优点是结构简单，只需两个气缸，体积较小，而且定位很可靠。其缺点是只能单方向转动。若要求逆转时，则必须采用两个这样的机构。

多位置电—空传动机构除上述机构外，还有用三个气缸传动和四个气缸传动的机构，如图 2—4 所示。这两种机构都可以顺转或逆转。

电—空传动比电动机传动能得到较大的传动力，且节约有色金属，定位方便。

(二) 电动机传动

在多位置传动系统中，电动机传动和电—空传动一样，目前都获得广泛的应用。电动机传动只用电动机带动转轴旋转即可得到各个不同的转角和各个不同的控制位置。在用电动机传动机构

中必须考虑电动机的减速问题和转轴的定位问题。下面进行具体分析。

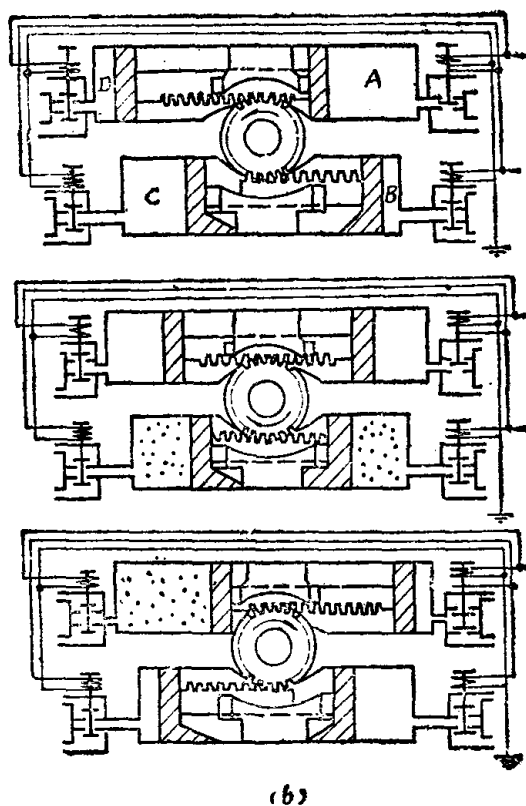
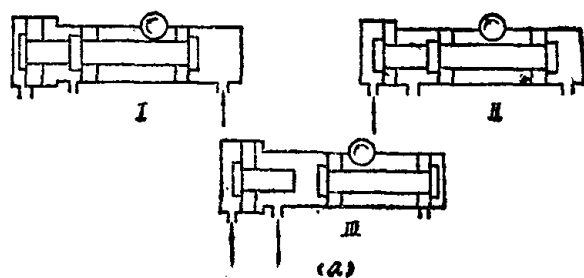


图 2—2 三位置气缸传动机构

1. 电动机减速问题

图 2—5 是一种最常用的电动机传动减速机构。电动机通过蜗轮—蜗杆减速后带动一个步进机构，步进机构再带动凸轮轴。这

样,把电动机均匀连续地转动经过步进机构后,不但降低了转速,而且还变成了一个间断地在转动过程中其转速是变化的转动。

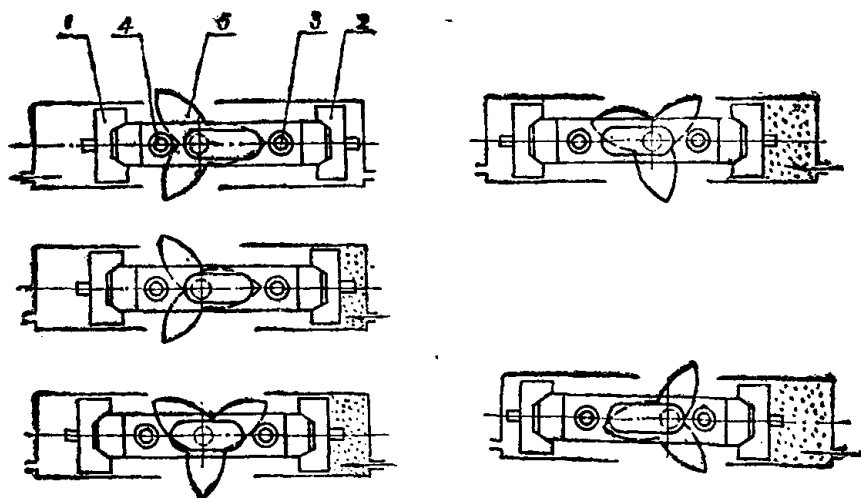


图 2—3 雷希托夫传动机构

1、2——活塞； 3、4——滚子； 5——星形轮。

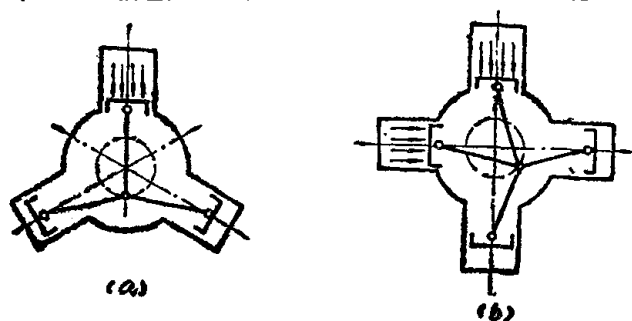


图 2—4 四气缸传动机构

(a) 三气缸传动机构； (b) 四气缸传动机构。

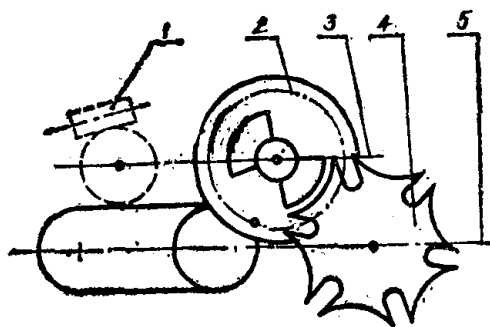


图 2—5 电动机传动减速机构

1——减速装置； 2、4——步进机构； 3、5——轴。

步进机构又叫马尔他十字机构,是由具有径向槽的步进轮(也叫十字架)和具有圆销的拨盘(或拨杆)以及机架所组成,如图2—6所示。拨盘1做均匀连续转动,而步进轮2时转时止。当拨盘1的圆销A未进入步进轮2的径向槽时,由于步进轮的内凹锁住弧 $\widehat{CDE}$ 被拨轮1的外凸圆弧 $\widehat{C'D'E'}$ 卡住,故步进轮2静止不动。在图示位置,拨盘1的圆销A进入步进轮2的径向槽。此时,外凸圆弧离开锁住弧,因此圆销A可以带动步进轮按相反的方向回转。当圆销A开始脱离径向槽时,步进轮的另一个内凹锁住弧又被拨盘的外凸圆弧卡住,致使步进轮静止不动,直至圆销A再进入步进轮的另一径向槽,两者又重复上述运动不断循环。

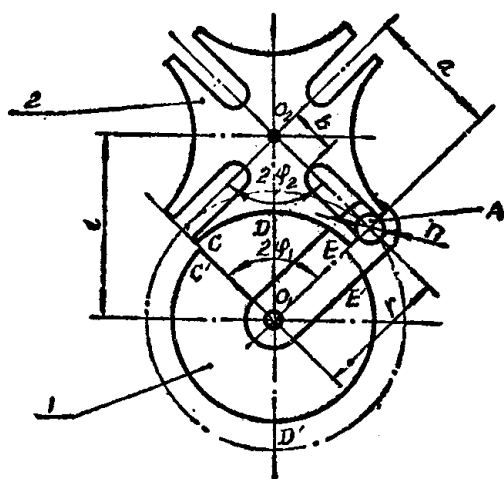


图2—6 步进机构
1——拨盘, 2——步进轮。

步进轮运动的时间 t_D 对拨盘回转一周的时间 t 之比称为运动系数 τ 。当拨盘匀速回转时,该时间比可用其转角来代替,即

$$\tau = \frac{t_D}{t} = \frac{2\varphi_1}{2\pi} \quad (2-1)$$

式中 $2\varphi_1$ ——步进轮转动时拨盘圆销A的转角。在马尔他十字机构中,当径向槽的中心线切于圆销中心轨迹时,圆销开始进入

径向槽或自径向槽向外移动。设 n 为均匀分布径向槽的数目，那么对于只有一个圆销的马尔他十字机构，圆销的转角 $2\varphi_1$ 为

$$2\varphi_1 = \pi - 2\varphi_2 = \pi - \frac{2\pi}{n}$$

因此

$$\tau = \frac{2\varphi_1}{2\pi} = \frac{\pi - \frac{2\pi}{n}}{2\pi} = \frac{n-2}{2n} \quad (2-2)$$

因为运动系数 τ 不得等于或小于零，所以从上式可知径向槽的数目应等于或大于3。又从上式可知，这种马尔他十字机构的运动系数 τ 总小于0.5，也就是说步进轮的运动时间总小于静止的时间。

如欲得到 $\tau > 0.5$ ，我们可以在拨销上装上数个圆销。设均匀分布的圆销数为 K ，那么式(2-1)中的 t_D 应当换为 $K \cdot t_D$ ，于是运动系数 τ 为

$$\tau = \frac{2\varphi_1 K}{2\pi} = \frac{(\pi - \frac{2\pi}{n}) K}{2\pi} = \frac{K(n-2)}{2n} \quad (2-3)$$

由于运动系数 τ 不得等于或大于1，因此

$$\frac{K(n-2)}{2n} < 1$$

因此得

$$K < \frac{2n}{n-2} \quad (2-4)$$

由上式可知，当 $n=3$ 时，圆销的数目可为1~5；当 $n=4$ 或5时，圆销的数目可为1~3；又当 $n \geq 6$ 时，圆销的数目可为1~2。图2-7为 $n=4$ 、 $K=2$ 的马尔他十字机构，其步进轮的运动时间与静止时间相等，这时除了径向槽和圆销均匀分布以外，两个圆销至 O_1 轴的距离也相等。

径向槽均匀分布而圆销不是均匀分布，则步进轮的每一次运动时间相等而静止时间不相等。

径向槽不是均匀分布而圆销是均匀分布，则与上述情况相

反, 步进轮的每一次运动时间不相等而静止的时间却相等。

径向槽和圆销都是不均匀分布, 并且两个圆销到 O_1 轴的距离也不相等, 则步进轮每一次运动时间和静止时间都是任意给定的, 得到的是不规则的马尔他十字机构, 如图 2—8 所示。

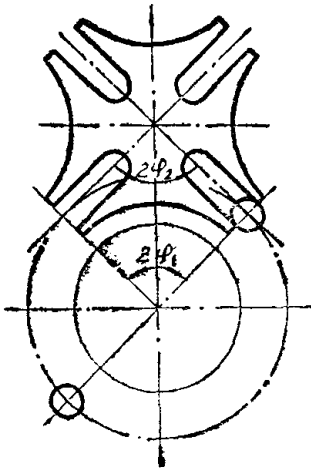


图 2—7 $n=4$ 、 $K=2$ 的
马尔他十字机构

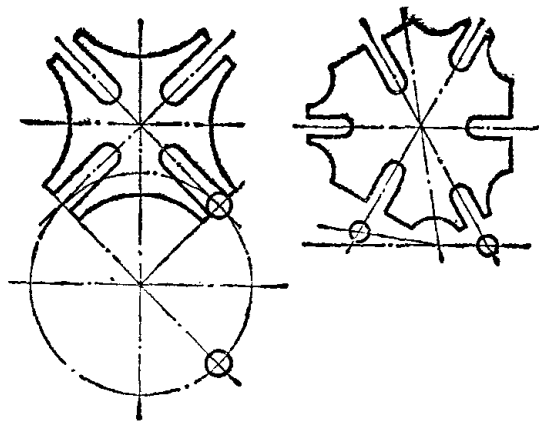


图 2—8 不规则马尔他十字机构

马尔他十字机构的基本尺寸 r 、 a 及 b 可用如下公式求出:

设已知中心距 l 和圆销的半径 r_1 。当 A 位于连心线 O_1O_2 上时得

$$b = l - (r + r_1)$$

式中

$$r = l \sin \varphi_2$$

$$a = l \cos \varphi_2$$

从上面分析中可知, 经过步进机构后传动系统由均匀连续转动变成时动时停的间歇运动了, 而且在运动时间内步进轮转速也不均匀, 关于这一特点将在第三章TKT₁-2100/2040型调压开关传动系统中作介绍。

2. 转轴定位问题

电动机传动机构中转轴的定位措施有两条原则:

一条原则是电动机只能停在正常运行位, 不能停在调压开关的过渡位上, 因为此时触头正在动作过程之中, 动、静触头的位

置是非正常工作状态，若此时电动机停转就会造成触头烧损，主电路混乱。另外，在运行位停止时，要求电动机的制动时间很短。为此，在拨轮轴上装一个中间位联锁，当调压开关一离开运行位后，此联锁触点便接通电动机电源接触器线圈，使电动机继续得电，动、静触头不会中途停止。另外，在电动机电路中用电动机电枢短路的方法达到制动时间短的要求。

另一条原则是，只有电动机转动时转轴方能转动。这一要求是通过步进机构拨盘上的外凸圆弧与步进轮上的内凹锁住弧的相互位置来实现的。我们已经知道电动机只能停止在运行位，所以就将步进机构设计成调压开关处于运行位时，拨盘上的外凸圆弧才与步进轮的内凹锁住弧接触。这样，只有当电动机转动后，带动拨盘圆销并进入步进轮凹槽时，外凸圆弧才离开内凹锁住弧，步进轮才能转动，因此电动机不转动步进轮就不能转动（当然手摇减速箱除外）。

二、调压开关触头系统

触头系统（又称接触元件）是组合传动电器的主要部件，用以直接切断或接通电路。

它可以按下列特征分类：

按电流大小可以分为主电路用触头系统和控制电路用触头系统；按控制触头的传动形式分为鼓形传动触头系统及凸轮形传动触头系统。调压开关采用的是凸轮形传动触头系统，因为鼓形传动触头在切换时不能带电流。

用凸轮传动的触头系统形式很多，但基本上可以分为两种类型：

1. 凸轮作用时触头闭合（图 2—9 a）；
2. 凸轮作用时触头打开（图 2—9 b）。

目前此两种类型触头元件均获得广泛应用。但第二种形式比第一种形式好，因为它能够保持压力恒定，且触头熔焊时也能强迫打开。韶山型机车上用的各型调压开关都采用了第二种形式。

触头系统包括触头和灭弧装置。

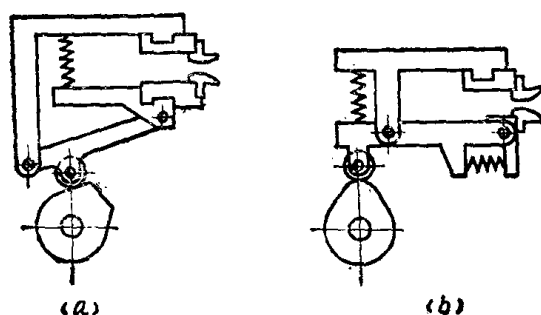


图 2-9 凸轮传动形式

(一) 触 头

触头由静触头（固定不动的）和动触头（可以移动的）组成，触头系统切断和接通电路就是由触头来实现的。因此触头在工作时经常受到机械撞击和电弧的破坏作用，很容易损坏，它是电器的一个重要元件，又是一个薄弱环节。为了保证电器工作可靠，延长寿命，触头必须满足以下要求：

- （1）工作时不应超过规定的容许温升；
- （2）有可靠的电接触，接触电阻小；
- （3）磨损小（包括机械磨损和电气磨损）；
- （4）在电弧的作用下，触头的抗熔焊性能要好；
- （5）闭合时振动要小；
- （6）有足够的电动稳定性和热稳定性。

触头的工作好坏直接影响到电器的工作质量，因此必须精心设计触头。触头的设计直到现在为止还没有一套完善的。主要是根据已有的电器触头进行分析、比较和选择，以及根据试验来确定触头的结构形式和参数。这就要求我们对各种电器的触头进行详细的观察和深入细致分析，从中取得经验。

1. 触头结构形式的选择

在同样的条件下，可以采用不同结构形式的触头来达到电器正常、可靠的工作目的。评定触头结构的好坏，主要看触头是否