

内 容 简 介

本书编写时考虑到职业技术教育的特点,紧密结合汽车运用与维修领域的职业需求进行内容组织,力争做到学时少、内容精、重视应用,避免出现深奥的原理分析及复杂的公式推导,突出实用性和综合性,注重对学生基本技能的训练和综合能力的培养。

本书共七个模块,主要内容有互换性与尺寸测量基础、汽车工程材料基础知识、汽车常用机构、汽车常用传动装置、汽车轴系零件结构及选用、零件的联接和液压传动。

本书适合作为高等职业院校汽车相关专业的基础教程,也可作为汽车行业从业人员的岗位培训用书。

图书在版编目(CIP)数据

汽车机械基础/侯子平主编. -- 北京:北京邮电大学出版社, 2014. 5(2025. 7 重印)

ISBN 978-7-5635-3954-3

I. ①汽… II. ①侯… III. ①汽车—机械学—高等职业教育—教材 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 099299 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 边丽新 封面设计: 黄燕美

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt. edu. cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 17 插页 1

字 数: 420 千字

版 次: 2014 年 5 月第 1 版

印 次: 2025 年 7 月第 13 次印刷

ISBN 978-7-5635-3954-3

定 价: 49.80 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233

能力目标

- 能够识读和绘制简单机构的运动简图；
- 能够判断平面四杆机构的类型及其运动特性,熟悉平面四杆机构在汽车及实际中的典型应用；
- 能够识别凸轮机构的组成部分、凸轮机构的类型,熟悉凸轮机构在汽车中的典型应用；
- 能够识别棘轮机构和螺旋机构的各组成部分,熟悉棘轮机构及螺旋机构在汽车及实际生活中的典型应用。

案例导入

早期的汽车是比较纯粹的机械系统,汽车发展到今天,其基体仍然是机械。机械是人类在生产中用以减轻或代替体力(脑力)劳动和提高生产率的主要工具,是机器和机构的总称。如图 3-1 所示为单缸四冲程内燃机,汽车用汽油机、柴油机都是在单缸内燃机的基础上发展

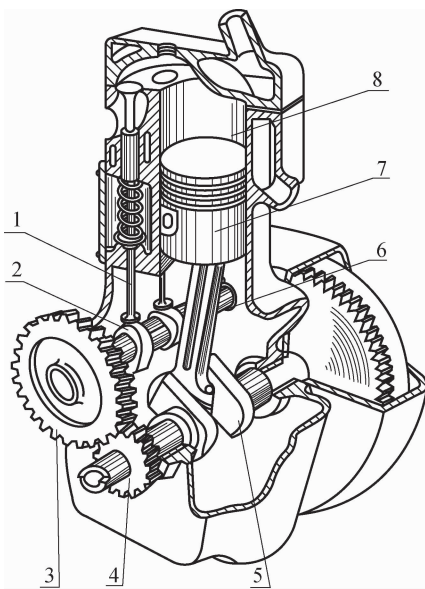


图 3-1 单缸四冲程内燃机

1—推杆；2—配气凸轮；3—配气齿轮；4—正时齿轮；5—曲轴；6—连杆；7—活塞；8—气缸体



而来的。单缸内燃机是将汽油或柴油的化学能转化为机械能的机器。

在单缸内燃机中,活塞 7 上部的密闭气缸体 8 内部会周期性地形成燃油和空气的混合气并燃烧,通过燃烧将燃油中的化学能转化为热能,从而导致气体膨胀并推动活塞向下移动。活塞 7 通过连杆 6 带动曲轴 5 转动,从而将活塞的移动转化曲轴的转动;曲轴通过正时齿轮 4 和配气齿轮 3 带动配气凸轮 2 转动;配气凸轮 2 通过推杆 1 带动其他各种机器和机构。机器的构造、用途和性能有所不同,但都具有以下几个共同的特征。

- (1) 机器是人为的多个实体的组合。
- (2) 各实体之间具有确定的相对运动。
- (3) 能够变化或传递能量、物料和信息。

机器的种类繁多,形式多样,从其组成来看,一部完整的机器主要有以下四大部分。

(1) 原动机部分。原动机部分的作用是将其他形式的能量转化为机械能,是机械的动力来源,如汽车发动机、电动机等。

(2) 执行部分。执行部分也称工作部分,是直接完成机器预定功能的部分,如汽车的驱动轮等。

(3) 传动部分。传动部分是将原动机所产生的机械能传递给执行部分的中间环节,如汽车中处于发动机和行驶系统之间的传动系统。传动系统可以改变运动的速度、方向、运动形式等。

(4) 控制部分。控制部分也称操纵部分,用来控制机器的其他构件,实现操作者意图的部分。如汽车上的转向系统、刹车系统及各种电控系统。

知识要点

知识点一

机构的组成及运动简图

一、机构的组成

机器是由机构和零件组成的;机构是机器的基本组成部分,包含若干个零件;**零件也是机器的基本组成部分,是机械制造的最小单元。**

从运动角度来分析,可以把机器看成是由若干个构件组成的。**构件是机器运动的最小单元。**构件可以是单个的零件,也可以是若干个零件的刚性组合体。如图 3-2 所示的发动机连杆就是由连杆衬套、连杆体、连杆轴承、连杆盖、连杆螺栓等零件组成的一个构件。

机构是由若干个构件组成的,但是若干个构件并不一定组成机构。能实现运动转换和动力传递的零件、构件组合称为机构。

所有构件都在相互平行的平面上运动的机构,称为平面机构。平面机构应用最为广泛。

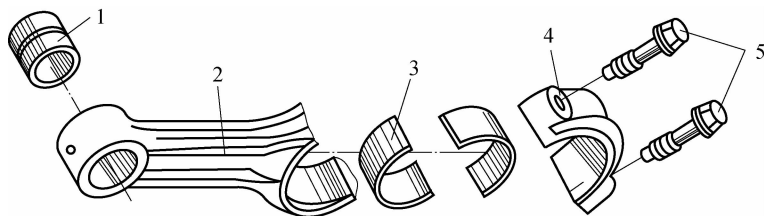


图 3-2 发动机连杆

1—连杆衬套；2—连杆体；3—连杆轴承；4—连杆盖；5—连杆螺栓

二、运动副的概念及其分类

1. 运动副的概念

为使构件组成具有确定运动的机构,它们之间必须以某种方式连接起来。这种连接不应使它们只成为一个运动的单元体,而应保证机构之间仍能产生某些相对运动。由两构件直接接触组成的可动连接称为运动副。它限制了两构件之间的某些相对运动,而又允许有一些相对运动。

2. 运动副的分类

运动副反映了两构件间的接触状况。接触的形式是点、线或者面。根据构件间的接触形式对构件运动的限制作用,一般将运动副分为低副和高副两类。

1) 低副

两构件间的接触形式为面接触的运动副称为低副。根据相对运动形式的不同,又可把低副分为转动副和移动副。

(1)转动副。组成运动副的两构件只能绕某一轴线做相对转动,这样的运动副称为转动副,又称为铰链,如图 3-3(a)、图 3-3(b)所示。在图 3-3(a)的两构件中,构件 2 是机架,又称为固定铰链,图 3-3(b)的两构件均为可动构件,称为可动铰链。

(2)移动副。组成运动副的两构件只能做相对直线运动,这样的运动副称为移动副,如图 3-3(c)所示。

低副接触面积大、单位面积上承受的压强小,磨损小,使用寿命长,同时也容易加工和保证精度。但是低副的两构件间存在间隙,可能产生一定的运动误差。

2) 高副

两构件间的接触为点接触或者线接触的运动副称为高副。如图 3-3(d)所示的齿轮副和图 3-3(e)所示的凸轮副均为高副。它们的相对运动是绕接触点(或线)的转动和沿切线的移动,而沿公法线方向的运动受到限制。

两构件间的运动副采用高副,即两构件间采用点接触或线接触时,由于单位面积上承受的压力较大,故高副易磨损,使用寿命较短。

此外,常用运动副还有螺旋副,如图 3-3(f)所示,它属于空间运动。

三、机构中构件的分类和组成

根据运动副性质组成机构的构件可分为三类。



1. 机架

机构中固定于参考系的构件称为机架。它用来支承机构中的可动构件(机构中相对于机架运动的构件),并以它作为参考坐标系来研究其他可动构件的运动。

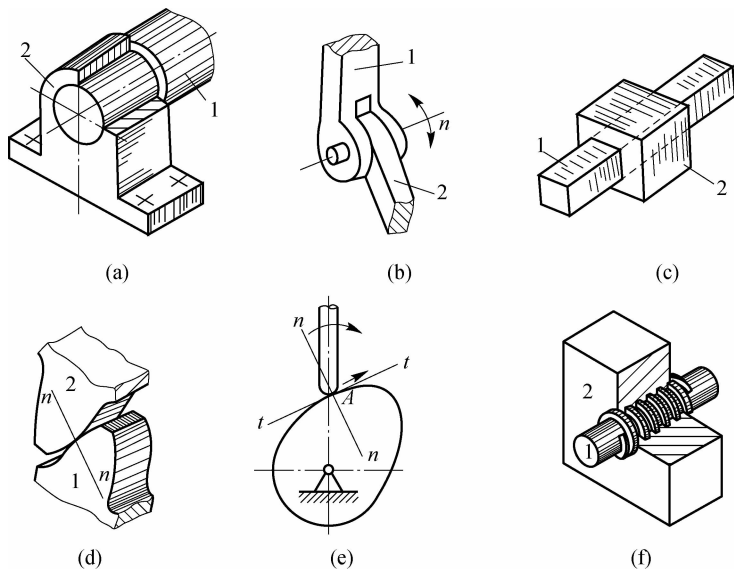


图 3-3 运动副

1、2—构件

2. 主动件(原动件)

机构中驱动力、驱动力矩或运动规律已知的构件称为主动件或原动件。它是机构中输入运动或动力的构件,又称为输入构件。

3. 从动件

机构中除了主动件和机架外,随着主动件的运动而运动的其余构件皆称为从动件。

由此可知,机构可由机架、主动件及所有的从动件组成。同一机构中,主、从动件肯定是不一样的构件,但在不同的情况下,主、从动件可以相互转化。

为了便于分析、研究已有机构或重新设计机构,首先需要作出能表明机构运动特征的机构运动简图。

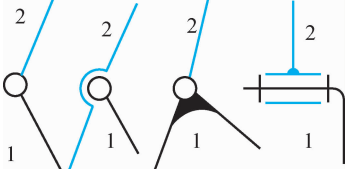
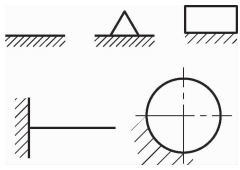
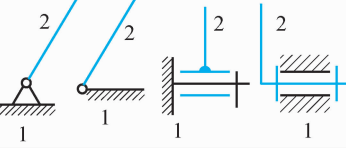
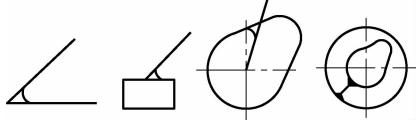
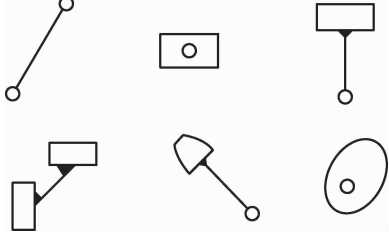
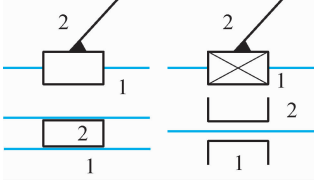
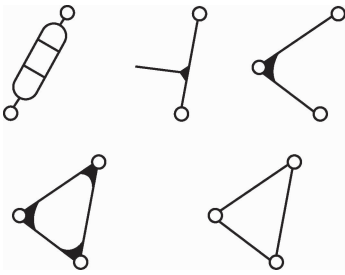
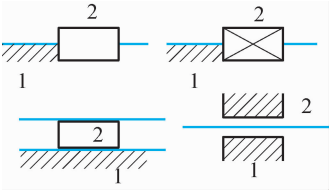
四、机构运动简图

在实际运动的机械中,构件的结构和形状比较复杂。原因在于,构件的形状和结构不仅与机构的运动有关,而且与受力状况、制造工艺及装配等多种因素相关。

由于机构的运动仅与构件数目、运动副的类型、运动副的数目和它们的相对位置有关,可以保留这些因素,而略去构件断面尺寸、运动副的具体结构等无关因素,将实际机构简化为示意图来对运动特征进行分析。用规定的构件和运动副符号来表示机构的简化示意图称为机构简图,或称机构示意图。而用长度比例尺画出的机构简图称为机构运动简图。

机构运动简图常用符号见表 3-1。

表 3-1 机构运动简图常用符号(摘自 GB/T 4460—2013)

名 称	简图符号	名 称	简图符号
杆轴 构件		转动副	两构件 均可以 运动 
固定 构件			一构件 固定、 一构件 运动 
同一 构件			
二副 元素			两构件 均可以 运动 
三副 元素		移动副	一构件 固定、 一构件 运动 



续表

名 称	简图符号	名 称	简图符号
齿轮副外啮合		螺旋副	
		零件与轴的固定连接	
齿轮副内啮合		链传动	
凸轮副		带传动	
齿轮齿条传动		圆锥齿轮传动	

能力训练

平面机构运动简图的绘制

机构运动简图是工程上的一种常用图形。它用简单的线代表构件,相应的符号代表各种运动副,用以表示实际机器中各机构的组成和运动关系,使机器的工作原理表达一目了然。必须强调的是,机构运动简图表达的运动特性与原机构的运动特性完全相同。

绘制机构运动简图时,应忽略构件的复杂外形和具体结构,采用规定的代表符号(见表 3-1),再根据运动副之间的相对位置尺寸,按比例绘出。

下面以图 3-1 单缸四冲程内燃机的机构运动简图为例来说明机构运动简图的绘制方法和步骤。



1. 确定构件的类型和数目

(1) 曲柄连杆机构。活塞为原动件, 连杆、曲轴为从动件, 气缸体为机架。

(2) 齿轮机构。齿轮机构中与曲轴固定成一构件的正时齿轮为主动件, 配气齿轮为从动件, 气缸体为机架。

(3) 凸轮机构。凸轮机构中与配气齿轮固定成一构件的配气凸轮为主动件, 推杆为从动件, 气缸体为机架。

以上组成内燃机的三个机构因其运动平面互相平行, 故可看成是一个平面机构。此机构共有 6 个构件, 分别是活塞、连杆、推杆、气缸体、曲轴和正时齿轮组成一个构件, 配气齿轮和配气凸轮组成一个构件。其中活塞是原动件, 气缸体是机架, 其余为从动件。

2. 确定运动副的种类和数目

根据组成运动副构件相对运动关系可知, 活塞和气缸体组成移动副; 活塞和连杆组成转动副; 曲轴、正时齿轮作为一个构件与机架组成转动副; 正时齿轮与配气齿轮组成齿轮副; 配气齿轮和配气凸轮作为一个构件与机架组成转动副; 配气凸轮与推杆组成凸轮副; 推杆与机架组成移动副。在这些运动副中, 齿轮副和凸轮副为高副, 其余的运动副为低副。

3. 合理选择视图

因为整个主体机构为平面机构, 故取连杆运动平面为视图平面。

4. 选定比例尺, 绘制机构运动简图

三个机构选定相同比例尺, 然后以相应构件和运动符号绘出机构运动简图, 如图 3-4 所示。

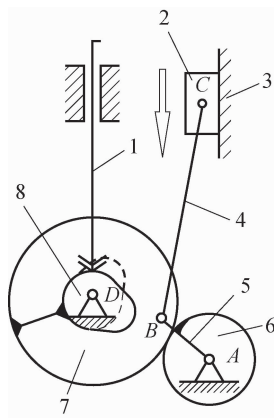


图 3-4 单缸四冲程内燃机运动简图

1—推杆; 2—活塞; 3—气缸体; 4—连杆; 5—曲轴; 6—正时齿轮; 7—配气齿轮; 8—配气凸轮

在绘制机构运动简图时, 还须注意的问题是, 先将与机架有关的各运动副按相对位置画好, 然后再画有位置变化的运动副。在选择它们的图示位置时要适当, 应以各构件不出现重叠或交叉为宜。

此外, 在主动件上常标注一箭头, 表示其运动规律为已知。



知识点二

平面连杆机构

平面中所有构件间的相对运动均为平面运动且只用低副连接的机构,称为平面连杆机构。

平面连杆机构被广泛用于汽车中的工作机构和控制机构。在平面连杆机构中具有四个构件(包含机架)的连杆机构称为四杆机构,具有五个构件的机构称为五杆机构,以此类推。其中平面四杆机构是最简单、最基本的平面连杆机构,不仅应用广泛,而且也是其他平面连杆机构的基础。

平面四杆机构可分为铰链四杆机构和滑块四杆机构两大类,前者是平面四杆机构的基本形式,后者由前者演化而来。

一、铰链四杆机构的组成

构件间用四个转动副相连的平面四杆机构称为铰链四杆机构,如图 3-5 所示。其中固定不动的杆 4 称为机架;以转动副与机架相连的杆 1 和杆 3 称为连架杆;不与机架相连的杆 2 称为连杆。用转动副与机架相连并能绕机架旋转整圈的连架杆称为曲柄;用转动副与机架相连但不能绕机架旋转整圈的连架杆称为摇杆。

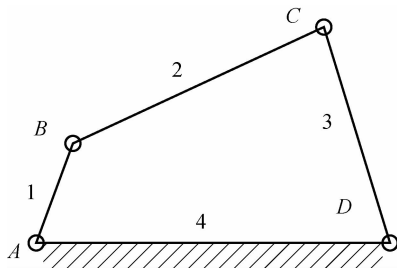


图 3-5 铰链四杆机构

1、3—连架杆; 2—连杆; 4—机架

二、铰链四杆机构的基本类型

按两连架杆是否是曲柄,铰链四杆机构分为曲柄摇杆机构、双曲柄机构和双摇杆机构三种基本形式。

1. 曲柄摇杆机构

具有一个曲柄和一个摇杆的铰链四杆机构称为曲柄摇杆机构,如图 3-6 所示。杆 3 可做整圈旋转,称为曲柄;杆 1 只能做往复摇摆运动,称为摇杆。曲柄和摇杆的任何一个都可以用来做主动件,其余的一个则必为从动件。

如图 3-7 所示为缝纫机踏板机构。当缝纫机的摇杆 1(也就是踏板)做往复摆动时,通过连杆 2 带动曲柄 3 转动。这时摇杆 1 是主动件,曲柄 3 为从动件。

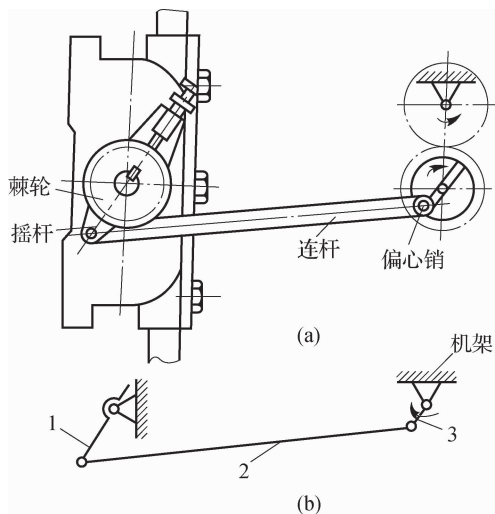


图 3-6 曲柄摇杆机构

1—摇杆；2—连杆；3—曲柄

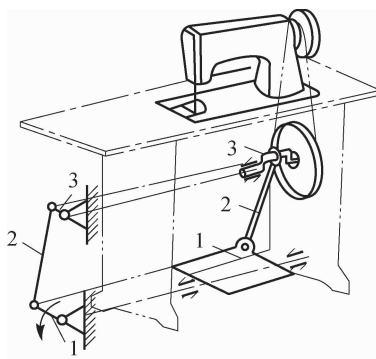


图 3-7 缝纫机踏板机构

1—摇杆；2—连杆；3—曲柄

2. 双曲柄机构

具有两个曲柄的铰链四杆机构称为双曲柄机构。如图 3-8 所示为一惯性筛机构。其中杆 AB 和杆 CD 均能做整圈旋转，因而是双曲柄机构。其运动特点是当主动曲柄 AB 等速转动一周时，从动曲柄 CD 以变速转动一周，使筛子 EF 回程时速度较快，以实现惯性筛选的作用。

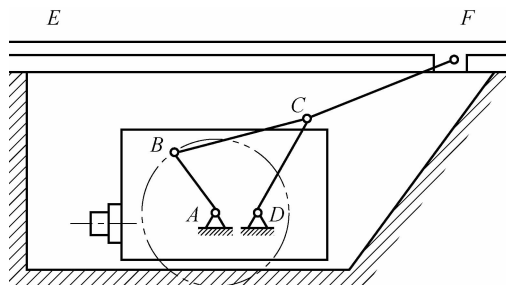


图 3-8 惯性筛机构

在双曲柄机构中，若主动曲柄做等速转动，从动曲柄一般做变速转动。只有当连杆与机架的长度相等，两个曲柄长度相等且转向相同时，两个曲柄的角速度才会相等，如图 3-9 所示，这样的双曲柄机构称为正平行四边形机构。

如图 3-10 所示为摄影车的升降机构，它利用平行四边形机构的连杆始终做平动的特点，使与连杆固接在一起的座椅始终保持水平方向，其升降高度的变化也是通过采用两套平行四边形机构来实现的。

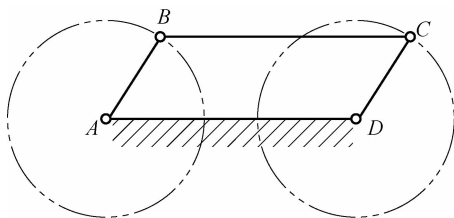


图 3-9 正平行四边形机构

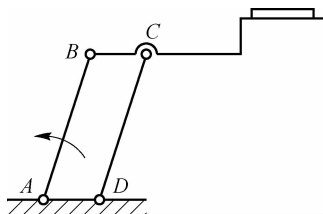


图 3-10 摄影车的升降机构

如图 3-11 所示,连杆与机架长度相等,两个曲柄长度相等而转向相反的双曲柄机构称为逆平行四边形机构。正平行四边形机构两曲柄的方位时刻相同,实现同向等角速度转动。逆平行四边形机构两曲柄转动方向相反,且角速度不等。

如图 3-12 所示的车门启闭机构是逆平行四边形机构的应用实例。左车门和曲柄 AB 连成一个整体,右车门和曲柄 CD 连成一个整体。气缸(图中未画出)推动曲柄 AB 转动。在左边车门打开的同时,通过连杆 BC 使曲柄 CD 朝相反方向转动,从而保证左、右车门同时开启或关闭。

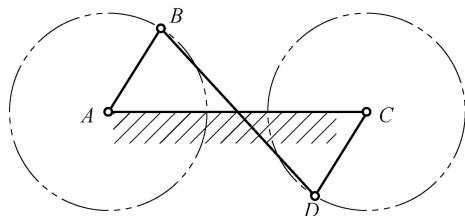


图 3-11 逆平行四边形机构

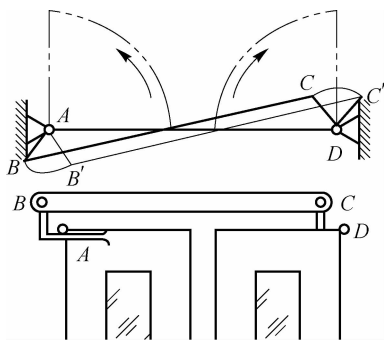


图 3-12 车门启闭机构

对于平行四边形机构,当所有构件位于同一直线上,即处于如图 3-13(a)所示位置时(AB 、 CD 处在同一直线上),从动杆 CD 可能向正、反两方向转动,出现运动不确定现象。为了消除这种现象,可以利用从动曲柄本身的质量或附加飞轮的惯性作用。或者用辅助构件组成多组机构,使其中一组在运动不确定位置时,另一组处于运转确定状态,如图 3-13(b)所示。

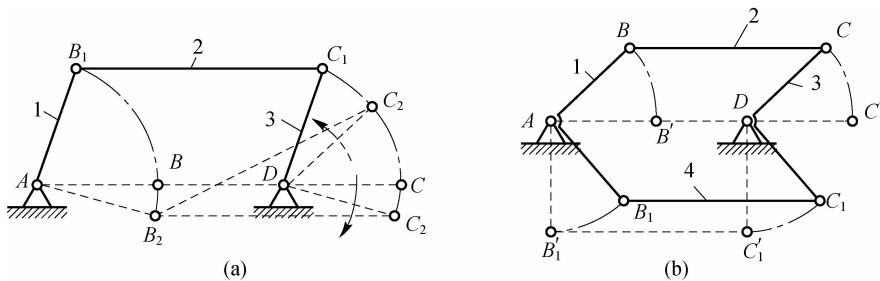


图 3-13 平行四边形机构运动不确定现象及其消除



3. 双摇杆机构

具有两个摇杆的铰链四杆机构称为双摇杆机构。如图 3-14(a)所示的港口起重机应用了双摇杆机构,其运动简图如图 3-14(b)所示。当摇杆 AB 和 CD 摆动时,使连杆 BC 的延长点 E 在近似水平的直线上运动,可以避免因重物升降而引起的能量消耗。

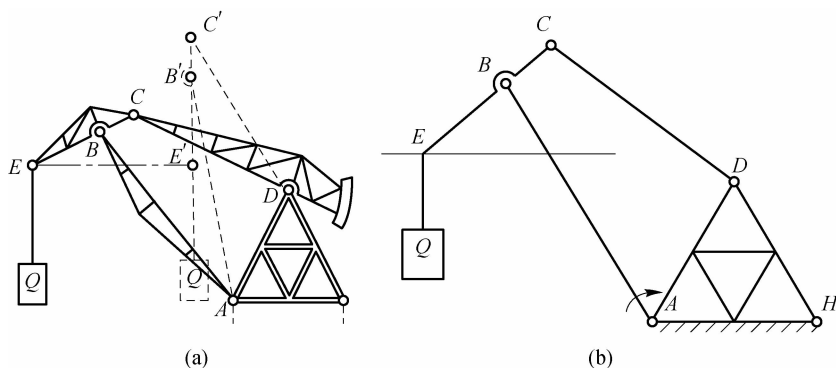


图 3-14 港口起重机及其运动简图

如图 3-15 所示为汽车前轮转向机构的示意图, $ABCD$ 为双摇杆机构。两个前轮分别与两个摇杆 AB 、 CD 固接在一起, AD 是车架, BC 受驾驶员控制而左、右移动, 为主动件。当 BC 左、右移动时, 则带动摇杆 AB 、 CD 及与其固接在一起的车轮绕 A 、 B 两点转动, 从而实现汽车的转向。

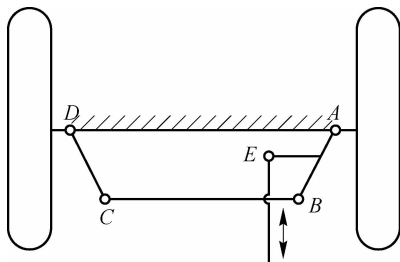


图 3-15 汽车前轮转向机构的示意图

三、铰链四杆机构的基本特性

1. 曲柄存在的条件

铰链四杆机构三种基本形式的区别在于连架杆中是否有曲柄, 下面讨论连架杆中存在曲柄的条件。

在如图 3-16 所示的铰链四杆机构 $ABCD$ 中, AB 为曲柄, BC 为连杆, CD 为摇杆, AD 为机架, 各杆的长度分别为 a 、 b 、 c 、 d 。曲柄 AB 在回转一圈的过程中一定可以实现与机架 AD 共线两次, 即直线 B_1AD 或重叠共线的直线 AB_2D 。

在 $\triangle B_1C_1D$ 中, 有

$$b+c \geq a+d$$

在 $\triangle B_2C_2D$ 中, 有

$$(d-a)+c \geq b, \text{ 即 } d+c \geq a+b$$



$$(d-a)+b \geqslant c, \text{ 即 } d+b \geqslant a+c$$

将以上三式的任意两式相加,可得

$$a \leqslant b$$

$$a \leqslant c$$

$$a \leqslant d$$

由此可知,曲柄 AB 必为最短杆, BC 、 CD 、 AD 杆中必有一个最长杆。

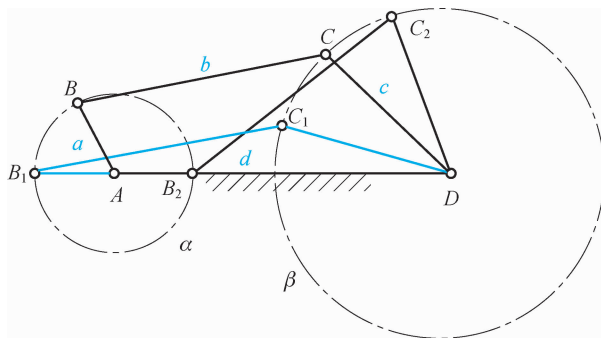


图 3-16 铰链四杆机构 $ABCD$

结合双曲柄存在的条件可以推知曲柄存在的条件。

(1)最长杆和最短杆的长度之和小于或等于其余两杆长度之和。

(2)连架杆和机架中必有一个为最短杆。

根据曲柄存在的条件还可以做出如下的推论:如果铰链四杆机构中,最短杆与最长杆长度之和小于或等于其余两杆的长度之和,则有以下三种情况。

(1)最短杆为机架时,该机构是双曲柄机构。

(2)最短杆的相邻杆为机架时,该机构是曲柄摇杆机构。

(3)最短杆的对面杆为机架时,该机构是双摇杆机构。

2. 急回运动特性

如图 3-17 所示为曲柄摇杆急回运动特性示意图,当曲柄 AB 为主动件并做等速回转时,摇杆 CD 为从动件并做往复变速摆动,曲柄 AB 在回转一周的过程中有两次与连杆 BC 共线。这时摇杆 CD 分别处在左、右两个极限位置 C_1D 、 C_2D 。摇杆处在这两个极限位置时,所对应的曲柄两个极限位置所夹的锐角为 θ 。曲柄顺时针从 AB_1 转到 AB_2 ,转过角度 $\alpha_1 = 180^\circ + \theta$,摇杆从 C_1D 转到 C_2D 所需时间为 t_1 , C 点的平均速度为 v_1 。曲柄继续顺时针从 AB_2 转到 AB_1 ,转过角度 $\alpha_2 = 180^\circ - \theta$,摇杆从 C_2D 转到 C_1D 所需时间为 t_2 , C 点的平均速度为 v_2 。由于 $\alpha_1 > \alpha_2$,所以 $t_1 > t_2$, $v_1 < v_2$,说明当曲柄等速转动时,摇杆来回摆动的速度不同,返回时速度较大。机构的这种性质称为急回特性,通常用行程速度变化系数 K 来表示,即

$$K = \frac{\text{从动件回程平均速度}}{\text{从动件进程平均速度}} = \frac{\frac{C_1C_2}{t_2}}{\frac{C_1C_2}{t_1}} = \frac{t_1}{t_2} = \frac{\alpha_1}{\alpha_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

式中, K 为急回特性系数; θ 为极位夹角,即摇杆位于两极限位置时曲柄所夹的锐角。

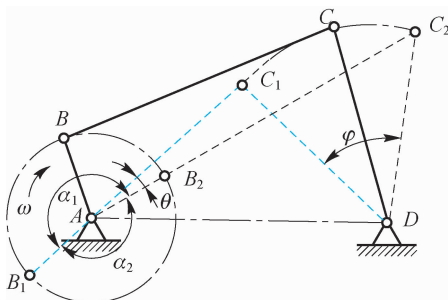


图 3-17 曲柄摇杆急回运动特性示意图

机构有无急回运动特性取决于急回特性系数 K 。 K 值越大,急回特性越显著,即从动件回程越快; $K=1$ 时,机构无急回特性。急回特性系数 K 与极位夹角 θ 有关。 $\theta=0^\circ$ 时, $K=1$,机构无急回特性, θ 越大,急回特性越显著。

3. 传力特性

1) 压力角和传动角

衡量机构传力性能的特性参数是压力角。在不计摩擦力、惯性力和杆件的重力时,从动件上受力点的速度方向与所受作用力方向之间所夹的锐角称为机构的压力角,用 α 表示。它的余角 γ 称为传动角。

如图 3-18 所示曲柄摇杆机构中,曲柄 1 是主动件,通过连杆 2 推动从动件摇杆 3,如不考虑构件的重量和摩擦力,则连杆是二力构件,曲柄通过连杆传给摇杆的力 F 沿 BC 方向。受力点 C 的速度方向与 F 所夹的锐角即为机构在此位置的压力角 α , F 可分解为沿 C 点速度方向的分力 $F_t = F \cos \alpha = F \sin \gamma$ 和沿杆方向的分力 $F_n = F \sin \alpha = F \cos \gamma$ 。

显然, F_t 为推动摇杆运动的有效分力, α 越小或者 γ 越大,有效分力越大,对机构传动越有利。因此 α 和 γ 是反映机构传动性能的重要指标。由于 γ 角更便于观察和测量,工程上常以传动角来衡量连杆机构的传动性能。在机构运动过程中,压力角和传动角的大小是随机构位置而变化的,为保证机构的传力性能良好,设计时须限定最小传动角 $\gamma_{\min}$ 或最大压力角 $\alpha_{\max}$,通常取 $\gamma_{\min} \geq 40^\circ \sim 50^\circ$ 。设计机构时必须确定 $\gamma = \gamma_{\min}$ 时机构的位置并检验 $\gamma_{\min}$ 的值是否小于上述的最小允许值。铰链四杆机构在曲柄与机架共线的两位置处将出现最小传动角。

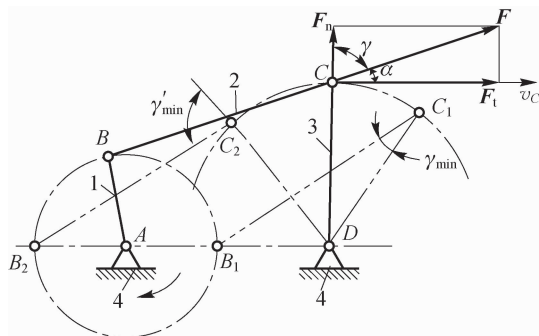


图 3-18 曲柄摇杆机构压力角和传动角



2)死点位置

如图 3-19 所示的曲柄摇杆机构,当摇杆 CD 为主动件,在曲柄与连杆共线的位置时 (AB_2C_2 位置),这时不论连杆 BC 对曲柄 AB 的作用力有多大,都不能使 AB 转动,机构的这种位置称为死点。

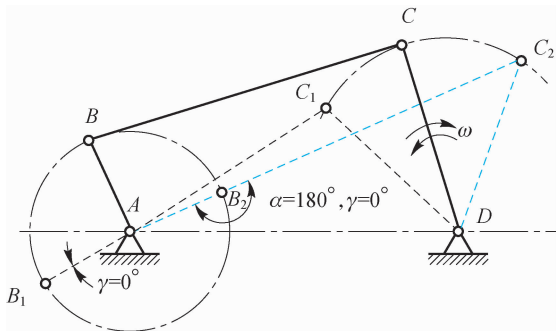


图 3-19 曲柄摇杆机构的死点位置

四杆机构中是否存在死点取决于从动件是否与连杆共线。对曲柄摇杆机构而言,当曲柄为主动件时,摇杆与连杆无共线位置,不出现死点;当以摇杆为主动件时,曲柄与连杆有共线位置,出现死点。工程上常借用飞轮使机构渡过死点。如图 3-7 所示的缝纫机踏板机构,曲柄与大带轮为同一构件,利用大带轮的惯性使机构渡过死点。而图 3-4 所示单缸四冲程内燃机中曲柄与飞轮是同一构件,利用飞轮的惯性使机构渡过死点。另外,如图 3-20 所示的机车车轮联动机构利用机构错位排列的方法渡过死点。

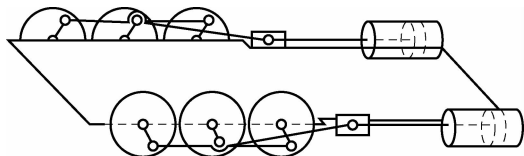
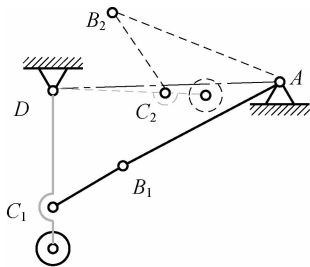
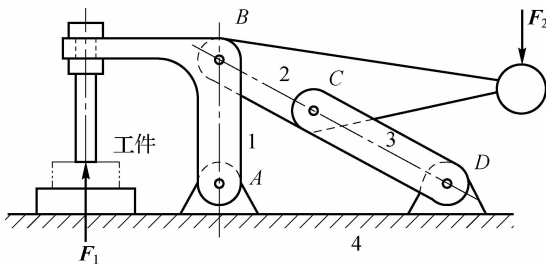


图 3-20 机车车轮联动机构

工程上有时也利用死点来实现一定的工作要求。如图 3-21(a)所示的飞机起落架,当飞机轮放下时 BC 杆与 CD 杆共线,机构处在死点位置,地面对飞机轮的力不会使 CD 杆转动,使降落可靠。又如图 3-21(b)所示的夹具,工件夹紧后 BCD 成一条线,即使工件反力很大也不能使机构反转,因此使夹紧牢固可靠。



(a)飞机起落架收放机构图



(b)利用死点位置夹紧工件

图 3-21 利用死点实现一定的工作



四、铰链四杆机构的演化

铰链四杆机构是平面四杆机构的基本形式,在实际生产中,平面四杆机构的形式是多样的。当铰链四杆机构的某些构件的形状、相对长度发生特殊变化或选择不同构件作为机架时,可演化为其他形式。

1. 曲柄滑块机构

曲柄滑块机构由曲柄摇杆机构演化而来。它是由曲柄、滑块和连杆通过移动副和转动副组成的平面四杆机构。当曲柄摇杆机构中的摇杆的长度趋于无穷大时,沿圆弧做往复运动的摇杆的外端点变成沿直线的往复运动,因此摇杆变成了沿导轨往复运动的滑块,曲柄摇杆机构就演化成曲柄滑块机构。如图 3-22 所示为曲柄滑块机构及其简图。

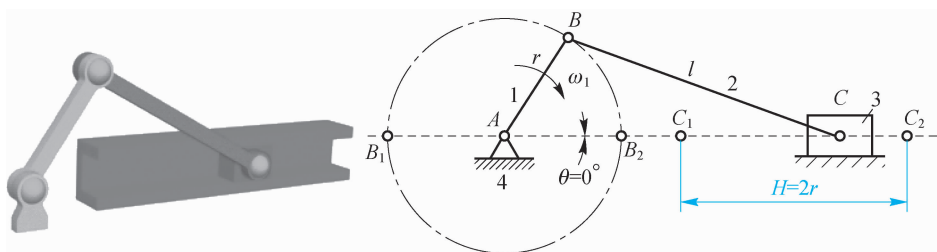


图 3-22 曲柄滑块机构及其简图

根据主动件的不同,曲柄滑块机构表现为如下不同性质。

(1)若曲柄 AB 为主动件并做连续整周回转,通过连杆 BC 可以带动滑块 3 做往复直线运动,滑块移动的距离 H 等于曲柄长度 r 的两倍,即 $H=2r$ 。

(2)若曲柄 AB 为主动件,曲柄滑块机构的最小传动角出现在曲柄与机架垂直的位置,如图 3-23 所示的 $\gamma_{\min}$ 为曲柄滑块机构的最小传动角示意图。

(3)若取滑块为主动件,当滑块做往复直线运动时,通过连杆 BC 可以带动曲柄 AB 做整周回转,但存在从动件曲柄与连杆共线的两个死点位置(如图 3-24 所示),需要采取相应的措施。

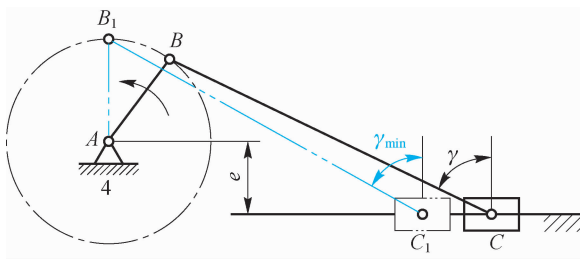


图 3-23 曲柄滑块机构的最小传动角示意图

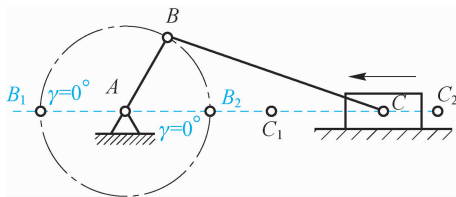


图 3-24 曲柄滑块机构的死点位置

手扶拖拉机的柴油机通常采用附加飞轮,利用飞轮的惯性来使曲轴顺利通过死点位置;对于多缸工作的内燃机,如汽油发动机、船用柴油机和活塞式航空发动机等,通常采用曲柄滑块机构的方式,如图 3-25 所示。

内燃机中活塞往复运动受到向上和向下运动的摩擦力,方向是不同的,因此活塞的圆周



磨损是有差异的。

2. 偏心轮机构

当要求滑块的行程 H 很小时,曲柄长度必须很小。此时,出于结构的需要,常将曲柄做成偏心轮,用偏心轮的偏心距 e 来替代曲柄的长度,曲柄滑块机构演化成偏心轮机构(如图 3-26 所示)。在偏心轮机构中,滑块的行程等于偏心距的两倍,即 $H=2e$,且一般以偏心轮为主动件。

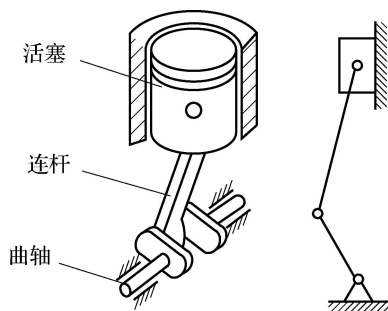


图 3-25 内燃机中的曲柄滑块机构

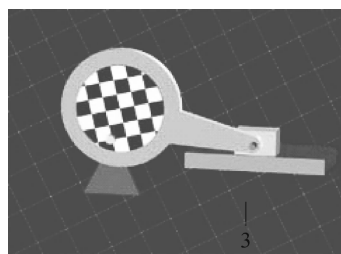


图 3-26 偏心轮机构

能力训练

如图 3-27 所示的四杆机构中,各杆长度为 $a=25\text{ mm}$, $b=90\text{ mm}$, $c=75\text{ mm}$, $d=100\text{ mm}$,试求:

- (1)若杆 AB 是机构的主动件, AD 为机架,机构是什么类型的机构?
- (2)若杆 BC 是机构的主动件, AB 为机架,机构是什么类型的机构?
- (3)若杆 BC 是机构的主动件, CD 为机架,机构是什么类型的机构?

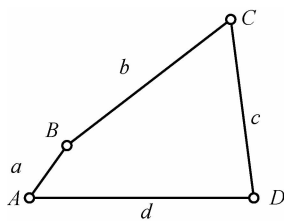


图 3-27 四杆机构

解 (1)若杆 AB 是机构的主动件, AD 为机架,因为

$$l_{AB} + l_{AD} = 25\text{ mm} + 100\text{ mm} = 125\text{ mm}$$

$$l_{BC} + l_{CD} = 90\text{ mm} + 75\text{ mm} = 165\text{ mm}$$

则 $l_{AB} + l_{AD} < l_{BC} + l_{CD}$ 。

满足杆长之和条件,主动件 AB 为最短构件, AD 为机架将得到曲柄摇杆机构。

(2)机构满足杆长之和条件, AB 为最短构件且为机架,与其相连的构件 BC 为主动件将得到双曲柄机构。

(3)若杆 BC 是机构的主动件,最短杆 AB 的对面杆 CD 为机架,将得到双摇杆机构。



知识点三 凸轮机构

一、凸轮机构的应用

凸轮机构在机械工业中是一种常用机构,例如,汽车发动机的配气机构通过凸轮机构来控制气门的开闭;柴油机的喷油泵供油、汽油泵的供油、分电器的配电等都要通过凸轮机构来控制。凸轮机构在机械自动化生产中应用更为广泛。

如图 3-28 所示为内燃机配气机构。凸轮 1 以等角速度转动,它的轮廓驱使气门 2(从动件)按预期的运动规律开启,从而完成气缸的排气和进气。

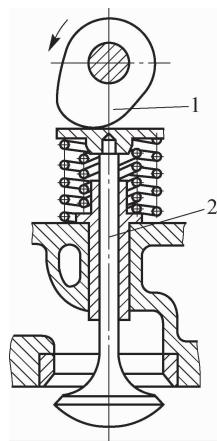


图 3-28 内燃机配气机构

1—凸轮; 2—气门

如图 3-29 所示为绕线机中用于绕线的凸轮机构,图中绕线轴 2 和齿轮 1 做成一体,齿轮 3 和凸轮 4 做成一体。当绕线轴 2 快速转动时,经齿轮带动凸轮 4 缓慢地转动,通过凸轮轮廓与顶尖 A 之间的作用,驱使从动件 5 往复摆动,从而使线均匀缠绕在绕线轴上。

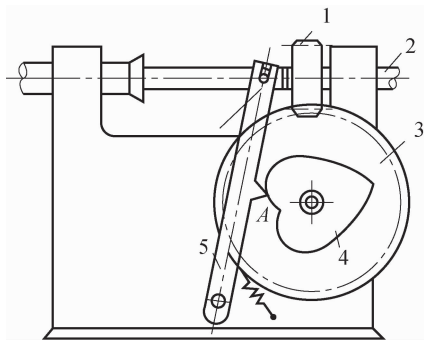


图 3-29 绕线机中用于绕线的凸轮机构

1、3—齿轮; 2—绕线轴; 4—凸轮; 5—从动件

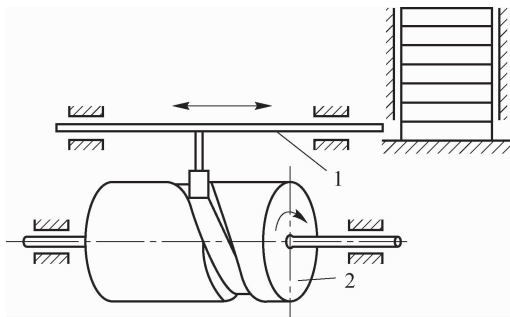


图 3-30 自动送料机构

1—从动件; 2—凸轮

二、凸轮机构的传动特点

凸轮机构由凸轮、从动件和机架三部分组成,凸轮为主动件,做定轴等速转动,从动件随凸轮轮廓的变化而得到不同的运动规律。凸轮机构传动的特点如下。

(1)凸轮机构结构紧凑,只需改变凸轮的轮廓形状,就可以改变从动件的运动规律,容易实现复杂的运动规律,且可以实现高速启动,工作可靠、准确。

(2)凸轮轮廓和从动件是点接触或线接触,容易磨损,多用于传递动力不大的场合。



三、凸轮机构的分类

凸轮机构的类型很多,一般按凸轮形状和从动件的形式分类。

1. 按凸轮形状分类

(1) 盘形凸轮。如图 3-31(a) 所示,该凸轮结构简单,适用于从动件行程较短的凸轮机构,应用较广。

(2) 圆柱凸轮。如图 3-31(b) 所示,适用于从动件行程较长的凸轮机构。

(3) 移动凸轮。如图 3-31(c) 所示,凸轮做往复直线运动,推动从动件在同一平面内做往返运动。

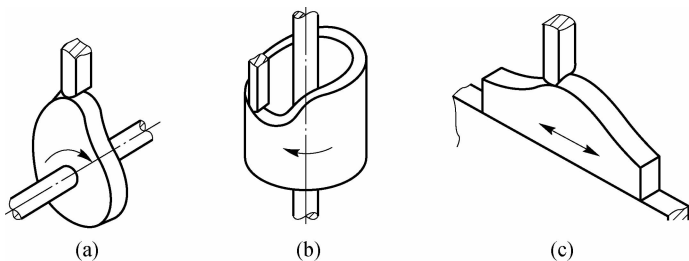


图 3-31 凸轮按形状分类

2. 按从动件的形式分类

(1) 顶尖式从动件。如图 3-32(a) 所示,结构简单,易磨损,只适用于作用力不大、速度不高的场合。

(2) 滚子式从动件。如图 3-32(b) 所示,由于滚子与凸轮轮廓之间为滚动摩擦,所以磨损较小,用于传递较大的动力,应用较为广泛。

(3) 平底式从动件。如图 3-32(c) 所示,由于凸轮和从动件之间的作用力始终作用于从动件的底平面,所以从动件受力平稳,且凸轮与平底面间容易形成油膜,润滑较好,适用于高速传动。

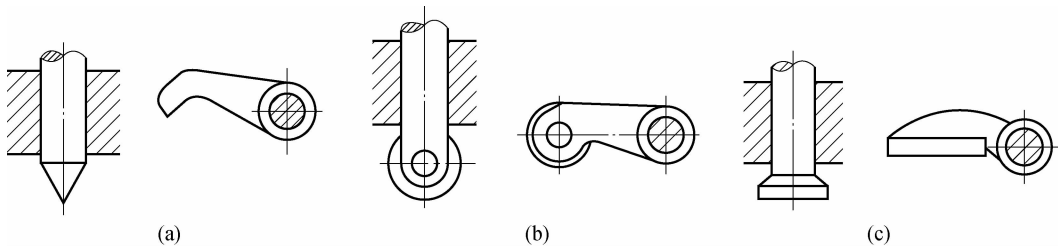


图 3-32 凸轮按从动件形式分类

四、凸轮与从动件的运动关系

凸轮机构中,从动件所获得的运动规律完全取决于凸轮的轮廓形状,设计和加工凸轮实际上就是确定凸轮的轮廓形状。

通常主动凸轮等速转动,从动杆做往复移动或摆动。从动杆的运动直接与凸轮轮廓曲



线上各点向径的变化有关,而轮廓曲线上各点向径大小随凸轮转角的变化而变化,这种运动关系称为从动杆的运动规律。根据运动方程或运动线图即可绘制出凸轮的轮廓曲线。

如图 3-33(a)所示的顶尖从动杆凸轮机构中,以凸轮轮廓最小半径的 r_b 为半径的圆称为基圆, r_b 称为基圆半径。设计凸轮轮廓曲线时,应首先确定凸轮的基圆。顶尖与凸轮轮廓上的 A 点(基圆与轮廓 AB 的连接点)相接触,图示位置为从动杆顶尖上升的起始位置。当凸轮以角速度 ω 逆时针方向转动一个角度 ϕ_0 时,从动杆被凸轮轮廓推动,以一定的规律由起始位置 A 到达最高位置 B,这个过程称为从动杆的升程,它所移动的距离 h 称为升程,而与升程对应的转角 ϕ_0 称为升程角。凸轮继续转动 ϕ_s 时,以 O 为中心的圆弧 BC 与顶尖接触,从动杆在最高位置停止不动,称为远停程,角 ϕ_s 称为远停程角。凸轮继续转动 ϕ' 时,从动杆以一定的规律回到起始位置,这个过程称为回程,角 ϕ' 称为回程角。凸轮再继续转动 ϕ'_s 时,从动杆在最近位置停止不动,称为近停程,角 ϕ'_s 称为近停程角。当凸轮继续转动时,从动杆重复上述运动。

如图 3-33(b)所示,将凸轮的转角 ϕ 与从动件的位移 s 的关系用曲线表示,此曲线称为从动件的位移曲线,即 $s-\phi$ 曲线。从图 3-33(b)中可以看出,从动件的位移 s 是随凸轮转角 ϕ 变化的,也是随时间变化的。因此当凸轮以等角速度 ω 转动时,从动件的位移 s 、速度 v 和加速度 a 的变化规律都是由凸轮轮廓形状确定的。

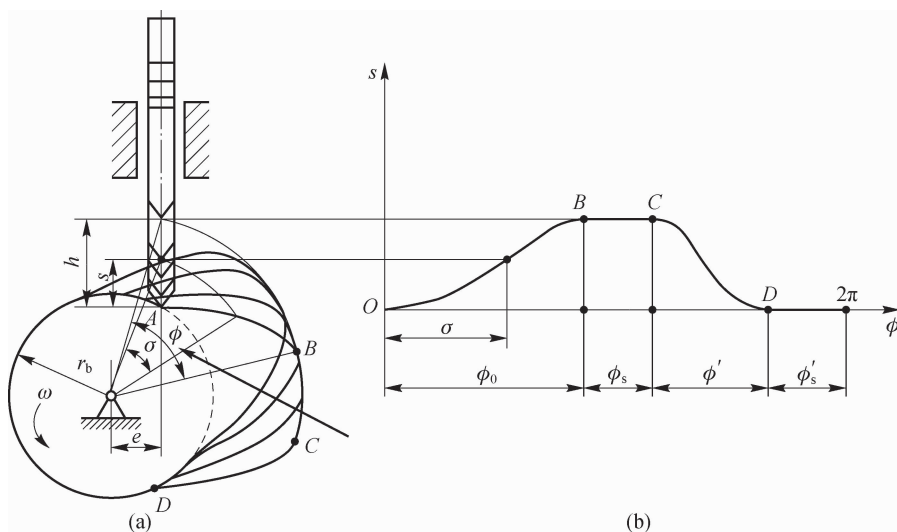


图 3-33 凸轮与从动件的关系

五、凸轮从动件的常用运动规律

1. 等速运动规律

当凸轮以等角速度 ω 转动时,从动杆在升程或回程的速度 v 为一常数,这种运动规律称为等速运动规律(直线运动规律)。

如图 3-34 所示,分别以从动杆的位移 s 、速度 v 和加速 a 为纵坐标,以凸轮转角 ϕ (或时间 t)为横坐标,作 $s-\phi$ 、 $v-\phi$ 及 $a-\phi$ 线图。

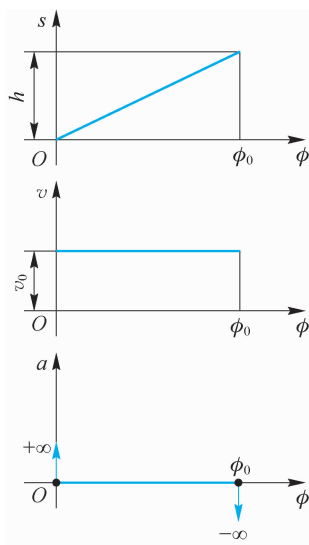


图 3-34 等速运动规律

由于速度 v 为常数,所以速度曲线为平行于横坐标的直线。位移曲线为斜直线,故这种运动规律又称为直线运动规律。因速度为常数,故加速度为零。然而,在行程开始位置,速度由 0 突变为 v ,其加速度为无穷大。同样,在行程终止位置,速度由 v 突变为 0,其加速度也为无穷大。在这两个位置,由加速度产生的惯性力在理论上也突变为无穷大,致使机构发生强烈的冲击,称为刚性冲击。实际上由于材料的弹性变形,加速度和惯性力不会达到无穷大,但也可能引起较大的振动,加速磨损甚至损坏构件。等速运动规律只适用于低速、轻载和特殊要求的凸轮机构中。某些特殊需要的凸轮机构,如在金属切削的进给机构中,由于需要满足表面粗糙度均匀的要求,也只能采用等速运动规律。

2. 等加速等减速运动规律

等加速等减速运动规律是从动杆在一个升程或回程中,前半段做等加速运动,后半段做等减速运动,通常加速度和减速度的绝对值相等。

如图 3-35 所示,这种运动规律的位移曲线由两段光滑相连的抛物线构成,故又称为抛物线运动规律。由图可见,等加速等减速运动规律当有远停程和近停程时,在升程和回程的两端及中点,其加速度仍存在突变,但惯性力为有限值,由此而产生的冲击称为柔性冲击。等加速等减速运动规律只适用于中速、轻载的场合。

3. 余弦加速度运动规律

如图 3-36 所示,余弦加速度运动规律的加速度按余弦曲线变化。加速度曲线是余弦曲线,速度曲线是正弦曲线,而位移曲线是简谐运动曲线,故这种运动规律又称为简谐运动规律(质点在圆周上做等速运动,它在这个圆的直径上的投影所构成的运动为变速运动,称为简谐运动)。由加速度曲线可见,在升程或回程的始点和终点,从动杆停歇(停程角不为零)时,该点才有柔性冲击。如果从动杆做无停歇的往复运动(停程角为零),加速度曲线变成连续的余弦曲线,运动中可以消除柔性冲击,这种运动规律可用于高速的场合。

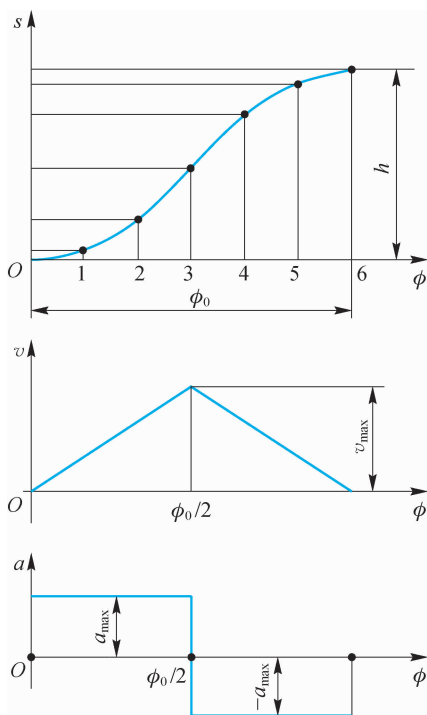


图 3-35 等加速等减速运动规律

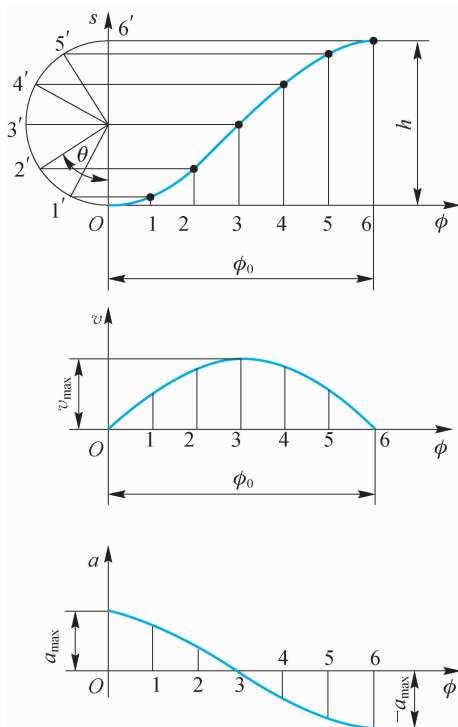
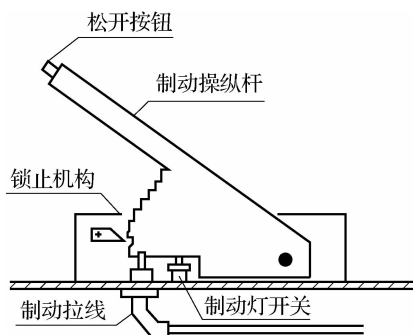


图 3-36 余弦加速度运动规律

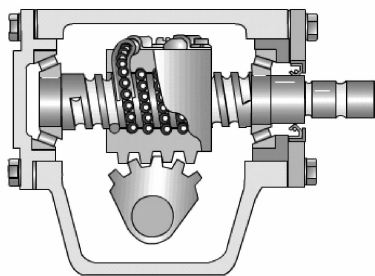
知识点四

棘轮机构和螺旋机构

棘轮机构和螺旋机构在汽车机械结构中都有应用,如图 3-37 所示,驻车制动锁止机构用的就是棘轮机构,汽车循环球转向器中应用了螺旋机构。



(a)驻车制动操纵机构示意图



(b)汽车循环球转向器

图 3-37 棘轮机构和螺旋机构在汽车中的应用



一、棘轮机构

棘轮机构的主要功用是将主动件的连续转动转化为周期性的间歇运动,即时动时停。汽车的手制动(停车制动)以及各种单向离合器均使用了棘轮机构。

1. 棘轮机构的工作原理和特点

典型的棘轮机构如图 3-38 所示,该机构由棘轮 3、棘爪 2、主动摇杆 1、弹簧 5 和制动棘爪 4 组成。

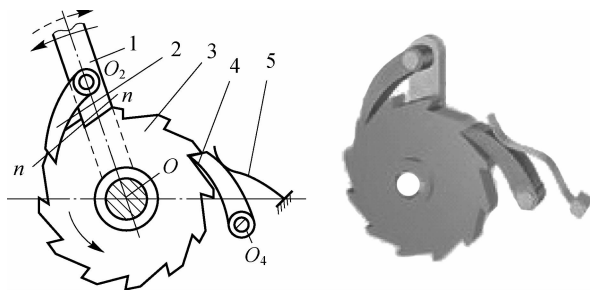


图 3-38 典型的棘轮机构

1—主动摇杆; 2—棘爪; 3—棘轮; 4—制动棘爪; 5—弹簧

当主动摇杆做往复摆动时,从动棘轮做单向间歇转动。主动摇杆 1 空套在与棘轮 3 固连的从动轴上,棘爪 2 与主动摇杆 1 用转动副相连,制动棘爪 4 与机架用转动副 O 相连,弹簧 5 可保证制动棘爪与棘轮啮合。具体表现为:当主动摇杆 1 左摆时,棘爪 2 插入棘轮 3 的齿内推动棘轮转过某一角度。当主动摇杆右摆时,棘爪 2 滑过棘轮 3,而棘轮静止不动,往复循环。制动棘爪 4 起到了防止棘轮反转的作用。这种有齿的棘轮其进程的变化最少,为 1 个齿距,且工作时有响声。

棘轮机构的结构比较简单,棘轮的运动(即每次间歇转过的角度)可以在较大的范围内变动,并且可以在工作过程中调节,这是棘轮机构的突出优点。棘轮机构主要的缺点是有较大的冲击和噪声,传动精度不高。

2. 棘轮机构的类型与应用

棘轮机构的类型多样,见表 3-2。

表 3-2 棘轮机构的类型

类 型	结 构 图	运 动 特 点
外啮合单动 式棘轮机构		棘爪装在棘轮的外面,当主动摇杆往复摆动一次时,棘轮只能单向间歇地转过某一角度



续表

类 型	结 构 图	运 动 特 点
内 啮 合 棘 轮 机构		棘爪装在棘轮的内部,单向间歇转动
双 动 式 棘 轮 机构		摇杆往复摆动时都能使棘轮沿同一方向做间歇运动
可 变 向 棘 轮 机构		主动摇杆与棘爪既可以使棘轮逆时针方向做间歇运动,又可以使棘轮顺时针方向做间歇运动。若将棘爪提起并绕其轴线转 180°后放下,则能使棘轮向顺时针方向做单向间歇转动
可 变 棘 轮 转 角 的 棘 轮 机构		利用遮板调节棘轮的转角,在棘轮外部罩一遮板,改变遮板位置以遮住部分棘爪,可使行程的一部分在遮板上滑过,棘爪不与棘齿接触,从而改变棘爪推动棘轮的实际转角的大小
摩 擦 式 棘 轮 机构		通过棘爪和棘轮之间的摩擦力来传递运动,噪声小,但接触面容易发生滑动,为了增加摩擦,一般将棘轮做成槽形

汽车上常用的一种单向离合器如图 3-39 所示,可以看作是一种将棘轮做成槽形的棘轮机构。此机构由爪轮 1、套筒 2、弹簧顶杆 3 和滚柱 4 等组成。如爪轮 1 为主动轮,则当其顺时针转动时,滚柱借摩擦力滚向空隙的收缩部分并将套筒楔紧,使其随爪轮一起转动;当爪轮逆时针转动时,滚柱即被滚到空隙的宽敞部分将套筒松开,这时套筒静止。当主动爪轮以任意角速度反复转动时,可使从动的套筒 2 获得任意大小转角的单向间隙转动。

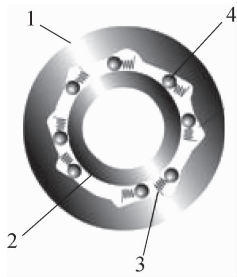


图 3-39 汽车上常用的一种单向离合器
1—爪轮；2—套筒；3—弹簧顶杆；4—滚柱



二、螺旋机构

构件通过螺旋副连接的机构称为螺旋机构,用来传递运动和动力。如图 3-40 所示是最基本的螺旋机构,它主要由螺杆、螺母和机架组成。螺杆与螺母组成螺旋副,螺杆与机架组成转动副,螺母与机架组成移动副。通常螺杆为主动件做匀速转动,螺母为从动件做轴向匀速直线运动,螺杆转动一周,螺母的轴向位移 l 为一个螺纹导程。若螺旋副的导程为 s ,螺杆的转角为 ϕ 时,其位移和转角的关系为

$$l = \frac{s\phi}{2\pi} \quad (3-1)$$

有时也可以使螺母不动,螺杆在旋转时轴向移动。

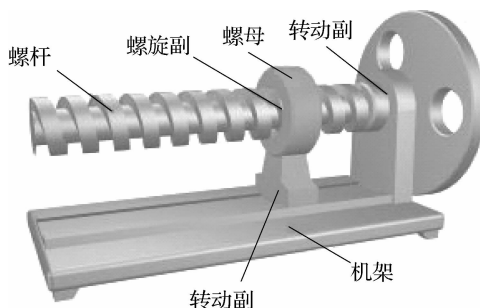


图 3-40 最基本的螺旋机构

1. 螺旋机构的类型和应用

螺旋机构除了螺旋副外还有转动副和移动副。螺旋机构按其用途可分为三类。

(1)起重螺旋。起重螺旋用以举重或克服其他相当大的生产阻力,如螺旋千斤顶(如图 3-41 所示)的螺旋。起重螺旋一般为间歇性工作,每次工作时间较短,工作速度也不高。由于它主要用来承受很大的轴向力,而且通常需有自锁能力,故一般用单头螺旋,螺旋升角不大于 $4^\circ \sim 5^\circ$,传动效率仅为 40% 左右。

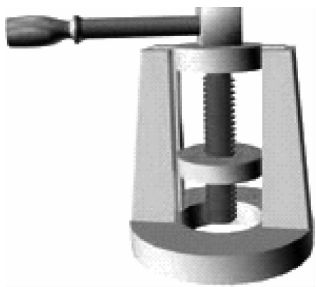


图 3-41 螺旋千斤顶

(2)传动螺旋。传动螺旋用以传递运动及功率。传动螺旋要在较长的时间内连续地工作,工作速度也较高,而且要求有较高的传动精度。螺旋机构按其螺纹间摩擦性质的不同又可分为滑动螺旋和滚动螺旋。

(3)调整螺旋。调整螺旋用以调整并固定零件或工件的位置。调整螺旋一般不在工作载荷下转动。



2. 螺旋机构的特点

螺旋机构具有以下特点。

(1) 当螺杆转过一周时,螺母只移动一个导程,而导程可以做得很小。故螺旋机构可以得到很大的减速比。

(2) 由于减速比大,当在主动件上施加一个不大的扭矩时,在从动件上可获得一个很大的推力,即螺旋机构具有很大的机械利益。

(3) 选择合适的螺旋升角可以使螺旋机构具有自锁性。

(4) 结构简单、传动平稳、无噪声等。

(5) 滑动螺旋的效率较低,特别是自锁螺旋的效率都低于 50%。

3. 螺旋传动的运动形式

螺旋传动的运动形式包括以下四种情况。

(1) 螺母不动,螺杆转动并做直线运动。常用于螺杆位移式台虎钳(如图 3-42 所示)、千分尺、螺旋增力机构(如图 3-43 所示)等。

(2) 螺杆不动,螺母回转并做直线运动。常用于螺旋千斤顶。



图 3-42 螺杆位移式台虎钳

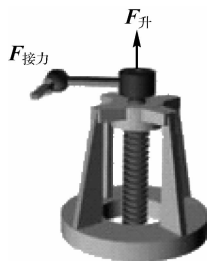


图 3-43 螺旋增力机构

(3) 螺杆原位转动,螺母做直线运动。常用于汽车循环球转向器。

(4) 螺母原位转动,螺杆往复运动。常用于游标卡尺的微调装置。

为了提高螺旋机构的传动效率,在螺杆与螺母的螺纹滚道间装上滚动体(常为滚珠,也有少数用滚子),称为滚动螺旋机构。如图 3-44 所示,当螺杆或螺母转动时,滚动体在螺纹滚道内滚动,摩擦状态为滚动摩擦。其摩擦损失比滑动螺旋机构小,传动效率也比滑动螺旋机构高。

滚动螺旋传动的效率一般在 90% 以上。它不自锁,具有传动的可逆性。汽车转向机构需要有一定可逆性来感知路面状况。滚动螺旋机构在数控机床、直线电机、汽车转向和飞机起落架等机构中有着广泛应用。

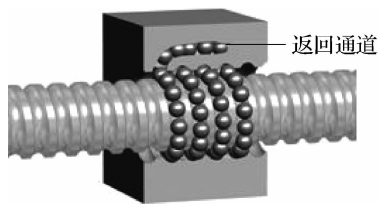


图 3-44 滚动螺旋机构

能力训练

解 试判断如图 3-45 所示自行车后轴飞轮机构属于什么机构,并分析其工作原理。

如图 3-45 所示自行车后轴飞轮机构是一种典型的内棘轮超越机构。它的工作原理是:当踩踏脚踏时,链条带动内圈上有棘齿的链轮 1 顺时针转动,再通过棘爪 5 带动后轮轴 4 在后轴 1 上转动,自行车前进。在前进过程中,如果踏板不动,链轮 3 停止转动。由于惯性作



用,后轮轴 5 带动棘爪 4 从链轮 3 上滑过,继续顺时针转动,即实现后轮轴的超越运动,这就是不蹬踏板自行车仍能自由滑行的原理。

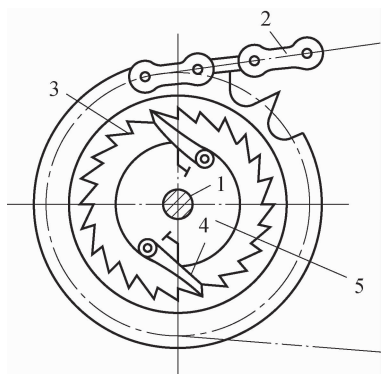


图 3-45 自行车后轴飞轮机构

1—后轴; 2—链条; 3—链轮; 4—棘爪; 5—后轮轴

知识点五

回转件的运动分析

由于回转件的结构形状不对称、制造安装不准确或材质不均匀等,转动时产生的离心力和离心力偶矩不平衡致使回转件内部产生附加应力,在运动副上引起了大小和方向不断变化的动压力,降低机械效率,产生振动,影响机械工作质量和寿命。

回转件平衡的目的就是调整回转件的质量分布,使回转件工作时离心力系达到平衡,以消除附加动压力,尽可能减轻有害的机械振动。

一、回转件的平衡

1. 静平衡

对于轴向尺寸很小(回转零件的直径和宽度之比 $D/L \gg 5$)的回转件,如叶轮、飞轮、砂轮等圆盘类零件,其质量的分布可以近似地认为在同一回转面内。因此,当该回转件匀速转动时,这些质量所产生的离心力构成同一平面内汇交于回转中心的力系。如果该力系不平衡,则它们的合力不等于零,根据力系平衡条件可知,如欲使其达到平衡,只要在同一回转面内加一质量(或在相反方向减一质量),使它产生的离心力与原有质量所产生的离心力之总和等于零,此回转件就达到平衡状态。因此,静平衡的条件是:回转件的质心与回转轴线重合。

2. 动平衡

对于轴向尺寸较大(回转零件的直径和宽度之比 $D/L < 5$)的回转件,如多缸发动机曲轴、电动机转子、汽轮机转子和机床主轴等,其质量的分布不能再近似地认为是位于同一回转面内,而应看作分布于垂直于轴线的许多互相平行的回转面内。这类回转件转动时所产生的离心力系不再是平面汇交力系,而是空间力系。因此,单靠在某一回转面内加一平衡质量的静平衡方法并不能消除这类回转件转动时的不平衡。

对于动不平衡的回转件,必须选择两个垂直于轴线的校正平面,并在这两个面上适当附



加(去除)各自的平衡质量,使各质量产生的离心力与力偶矩都达到平衡,这种平衡称为动平衡(双面平衡)。

由于动平衡同时满足了静平衡的条件,故经过动平衡的回转零件一定能保证静平衡,但经静平衡的回转零件却不一定能保证动平衡。

二、回转件的平衡试验

1. 回转件的静平衡试验

由静平衡原理可知,静不平衡的回转件的质心将偏离回转轴线,产生静力矩。利用静平衡架可测定回转件不平衡质径积的大小和方向,并由此确定平衡质量的大小和位置(根据回转件的特点,加平衡质量或在其相反方向减去质量),从而使其质心移到回转轴线上,即使其质心偏距为零,以达到静平衡的方法称为静平衡试验。

对 $D/L \gg 5$ 的圆盘形回转件,经静平衡试验校正后就可不必进行动平衡。静平衡试验常利用静平衡架,常用的导轨式静平衡架如图 3-46 所示。导轨式静平衡架主要部分为两条相互平行的用淬硬的钢料制成的刀口形导轨(也有棱柱形和圆柱形的),两条导轨固定在机架上,并使纵向和横向均处于水平。试验时,将回转件的轴轻轻地放置在刀口上,如回转件质心 S 不在包含回转轴的轴线的铅垂面内,由于重力对回转轴线的静力矩作用,回转件将在导轨上滚动,直到其质心处于最低位置。

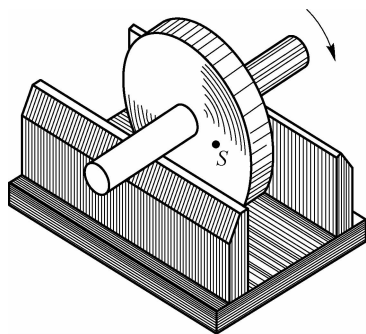


图 3-46 常用的导轨式静平衡架

为了消除转轴与导轨间滚动摩擦的影响,首先使回转件顺时针方向慢慢滚动到静止位置,在回转件上方做一径向标记 OB_1 ,如图 3-47(a)所示。然后,用同样的方法让回转件逆时针方向慢慢滚动到静止位置,同样在回转件的上方做一径向标记 OB_2 ,如图 3-47(b)所示。前后两位置因存在摩擦而不相重合,它们与准确位置的偏差方向正相反,所以,两径向标记正中的径向方向 OA 即为应加平衡质量的方向。可在该方向适当位置处试加一平衡质量(一般加橡皮泥),逐步调整其大小或径向位置,直至该回转件在任意位置都能保持静止不动。此时所加的平衡质量与其至回转轴线距离之乘积即为该回转件达到静平衡所需加的质径积大小。按试验所得的质径积,可以在结构允许的回转件径向位置上焊上或铆上一块金属,或者在其相反方向去掉一块材料,以使该回转件达到完全静平衡,上述过程往往需要反复多次才能得到满意的结果。

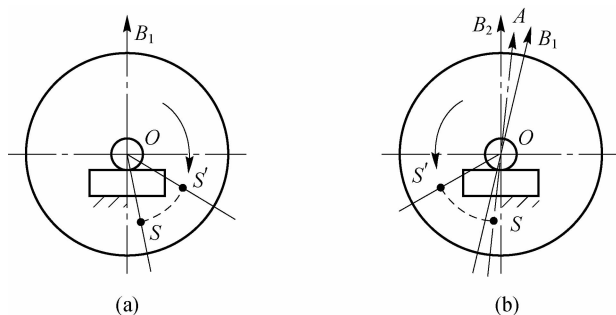


图 3-47 静平衡试验原理图



导轨式静平衡架的优点是结构简单可靠,精度也可满足一般生产要求。缺点是导轨需要相互平行且在同一水平面内,否则会影响平衡精度,故安装、调整要求较高,另外,不能平衡两端轴径不等的回转件。

另一种常用的圆盘式静平衡架如图 3-48 所示。其主要部分为一对由两个圆盘组成的支承,圆盘又分别由滚动轴承支承于机架上。当回转件的轴搁置在圆盘支承上时,因圆盘可绕其几何中心转动,故回转件可以绕自己的轴心自由转动。该试验方法与导轨式静平衡架相同。这种静平衡架优点是有一端的支承高度可以调节,以适应两端轴径不等的回转体进行静平衡试验。设备安装和调整都很简单,但因支承间的摩擦阻力较大,故平衡精度低于导轨式静平衡架。

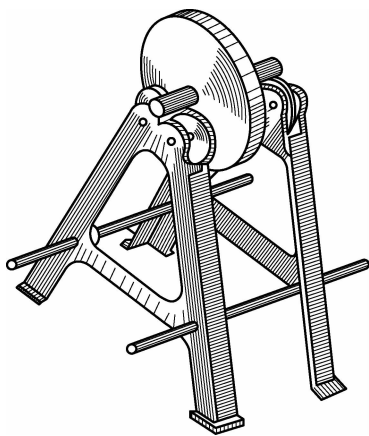


图 3-48 圆盘式静平衡架

2. 回转件的动平衡试验

对于 $D/L < 5$ 的回转零件或有特殊要求的重要转子,一般都要进行动平衡试验。动平衡试验必须在动平衡试验机上进行。

动平衡试验机的种类较多,由于电子技术和激光技术的发展和运用,动平衡机已采用电测技术测量矫正面内的不平衡量,用激光技术自动去掉不平衡质量,大大提高了平衡试验的自动化程度。有关各种形式的动平衡试验机的结构、工作原理、操作过程等详细内容,可参阅相应产品样本或试验指导书等有关资料。

三、平衡精度

1. 校正面

平衡一般是在垂直于旋转轴线,且被称为校正面的平面上进行。这个校正面是由回转体的形状及其允许加去重的位置所决定的。刚性回旋体的静平衡一般只需要一个校正面,这个校正面应该是该回转体的质心所在的平面或距其位置很近的平面,刚性回转体的动平衡则必须选择两个校正面。

根据回旋体的两个支承轴承间的距离 L 、两个校正面的距离 H 和回转体的直径 D 之间的关系粗略决定是进行静平衡还是动平衡,如图 3-49 所示。静平衡与动平衡的选择原则见表 3-3。

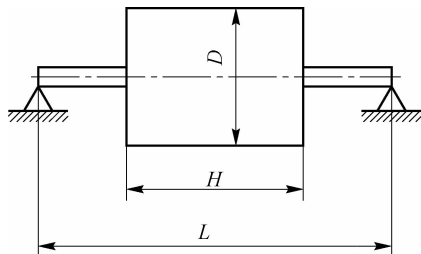


图 3-49 D 、 H 、 L 示意图

表 3-3 静平衡与动平衡的选择原则

平衡方法	$L、H、D$ 之间的关系	工作转速
静平衡	$D\geqslant 5H$	任何转速
静平衡	$D\leqslant H$ 且 $L\geqslant 2H$	任何转速
动平衡	$D\leqslant H$	$n>1\,000\text{ r/min}$

2. 平衡精度等级

由国际标准化组织推荐,以质心 c 点旋转时的线速度 $e\omega/1\,000$ 为平衡精度等级,记为平衡精度等级 G ,即

$$G=\frac{e\omega}{1\,000}$$

(3-2)

式中, e 为偏心距,单位为 μm ; ω 为转速, G 的单位为 mm/s ;并以 G 的大小作为精度标号。平衡精度等级之间的公比为 2.5,共分为 $G4000、G1600、G630、G250、G100、G40、G16、G6.3、G2.5、G1、G0.4$ 共 11 级。

在确定某一回转体的精度等级 G 时,不仅要考虑技术上的先进性,还应该注意经济上的合理性,不应盲目地追求高精度等级。在工程中可以根据不同类型的工作机械、应用场合、转速高低、用户意见等来确定其精度等级。各种典型刚性转子平衡精度等级(部分)见表 3-4。

表 3-4 各种典型刚性转子平衡精度等级(部分)

精度等级	$G/\text{mm}\cdot\text{s}$	转子类型
$G0.4$	0.4	精密磨床的主轴、陀螺仪、磨轮及精密电机转子
$G1$	1	磁带录音机及留声机驱动件,磨床驱动机,特殊要求的小型电机转子
$G2.5$	2.5	燃气和蒸汽涡轮、主涡轮、小电机转子(玩具车),透平压气机,机床驱动件,特殊要求的小型电机转子、水轮泵
$G6.3$	6.3	离心机的鼓轮,水轮泵,风扇,飞轮、泵的叶轮,普通的电机转子,涡轮机的齿轮
$G16$	16	农业机械零件,汽车、货车、发动机单个零件特殊要求的六缸、多缸发动机的曲轴驱动件,特殊要求的驱动轴、螺旋桨,粉碎机的零件
$G40$	40	汽车车轮、轮毂、车轮整体、传动轴,弹性安装的六缸和多缸高速四冲程发动机的曲轴驱动件
$G100$	100	六缸和多缸高速柴油机的曲轴传动件,汽车、货车和机车用的发动机整机



思考复习题

1. _____是机器运动的最小单元, _____是机械制造的最小单元。
2. 机构是_____。
3. 运动副是_____。按接触形式的不同分为低副和高副, 齿轮副属_____副, 齿轮绕着轴线转动属_____副。
4. 铰链四杆机构的三种类型是_____、_____、_____。
5. 铰链四杆机构存在的条件是_____、_____。
6. 在曲柄摇杆机构中, 若以曲柄为主动件, 则当两摇杆处于两极限位置时, 曲柄在两相位的夹角称为_____。以摇杆为主动件时, 当摇杆处于极限位置时, 曲柄与连杆共线位置称为_____位置。
7. 凸轮机构主要由_____、_____、_____三部分组成。
8. 凸轮机构按凸轮形状分为_____、_____、_____; 按从动件的形式分为_____、_____、_____。
9. 凸轮机构中从动件常用的运动规律有_____、_____、_____。
10. 棘轮机构是由棘轮、_____、_____、_____和_____等组成的。
11. 螺旋机构按其用途可分为起重螺旋、_____、_____三类。
12. 由于回转件的结构形状不对称、_____不准确或材质_____等, 转动时产生的力和_____不平衡致使回转件内部产_____, 在_____上引起了大小和方向变化的动压力, 降低机械效率, 产生振动, 影响机械工作质量和寿命。

1. 运动副的主要特征是两个构件以点、线、面的形式相接触。 ()
2. 曲柄为主动件的曲柄摇杆机构一定有急回特性。 ()
3. 极位夹角是从动件两极限位置之间的夹角。 ()
4. 凸轮机构采用等加速等减速运动时引起的冲击为刚性冲击。 ()
5. 棘轮在每一次运动中的转角都相同,不可改变。 ()
6. 棘轮机构结构简单,噪声和冲击小,运动精度高。 ()
7. 滚珠螺旋机构的传动特点与普通螺旋机构相比没有任何改变。 ()
8. 静平衡的条件是回转件的质心与回转轴线重合。 ()
9. 经过动平衡的回转零件一定能保证静平衡。 ()
10. 经静平衡的回转零件一定能保证动平衡。 ()

1. 对于铰链四杆机构,当满足杆长之和的条件时,若取()为机架,将得到曲柄摇杆机构。

A. 最短杆
B. 与最短杆相对的构件
C. 最长杆
D. 与最短杆相邻的构件

2. 对于曲柄摇杆机构,当()时,机构处于死点位置。

A. 曲柄为原动件、曲柄与机架共线
B. 曲柄为原动件、曲柄与连杆共线



- C. 摇杆为原动件、曲柄与机架共线 D. 摇杆为原动件、曲柄与连杆共线
3. 在曲柄摇杆机构中,当取曲柄为原动件时,()死点位置。
- A. 有一个 B. 没有
- C. 有两个 D. 有三个
4. 对于铰链四杆机构,当满足杆长之和的条件时,若取()为机架,将得到双曲柄机构。
- A. 最短杆 B. 与最短杆相对的构件
- C. 最长杆 D. 与最短杆相邻的构件
5. 对于曲柄摇杆机构,当()时,机构处于极限位置。
- A. 曲柄与机架共线 B. 曲柄与连杆共线
- C. 摇杆与机架共线 D. 摇杆与连杆共线
6. 对于铰链四杆机构,当从动件的行程速比系数()时,机构必有急回特性。
- A. $K > 0$ B. $K > 1$
- C. $K < 1$ D. $K = 1$
7. 对于铰链四杆机构,当满足杆长之和的条件时,若取()为机架,将得到双摇杆机构。
- A. 最短杆 B. 与最短杆相对的构件
- C. 最长杆 D. 与最短杆相邻的构件
8. 铰链四杆机构 $ABCD$ 各杆长度分别为 $l_{AB} = 40 \text{ mm}$, $l_{BC} = 90 \text{ mm}$, $l_{CD} = 55 \text{ mm}$, $l_{AD} = 100 \text{ mm}$ 。若取 AB 为机架,则此铰链四杆机构为()。
- A. 双摇杆机构
- B. 双曲柄机构
- C. 曲柄摇杆机构
9. 凸轮机构会产生刚性冲击时,从动件的规律为()。
- A. 等速运动
- B. 等加速等减速运动
- C. 余弦加速度运动
10. 从动件的推程采用等速运动规律时,在()会发生刚性冲击。
- A. 推程的起点 B. 推程的中点
- C. 推程的终点 D. 推程的起始点和终点
11. 凸轮机构的从动件运动规律与凸轮的()有关。
- A. 实际廓线 B. 轮廓曲线
- C. 表面硬度 D. 基圆

四、问答题

- 什么是机构的急回运动特性? 急回特性系数 K 表示什么意义?
- 什么是死点位置? 通常采用哪些方法使机构顺利通过死点位置?
- 根据如图 3-50 所示的已知尺寸的铰链四杆机构,单位为 mm ,判别各铰链四杆机构的类型。

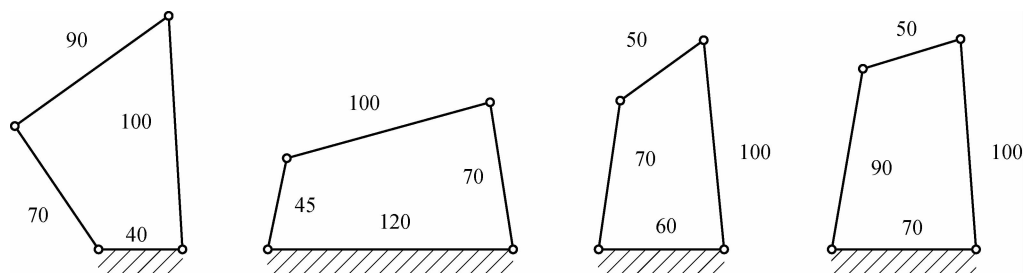


图 3-50 判断铰链四杆机构的类型

4. 凸轮机构中,从动件常用的从动件形式有哪几种? 各有什么应用特点?
5. 等速运动从动件的位移曲线是什么形状? 等速运动规律有什么工作特点? 主要用于什么场合?