

项目 2 车门启闭机构的搭建与分析

★ 项目说明

车门是车的重要组成部分，同时也是车的各部件中与人联系紧密的重要部分。要实现车门的作用和功能，需正确选择合适的车门启闭结构，因而了解车门的启闭结构至关重要。

本项目依托机构组合创新试验台（如图 2-1 所示），让学生在搭建常用的两种车门启闭机构过程中逐步掌握机构的基本知识并熟练应用。

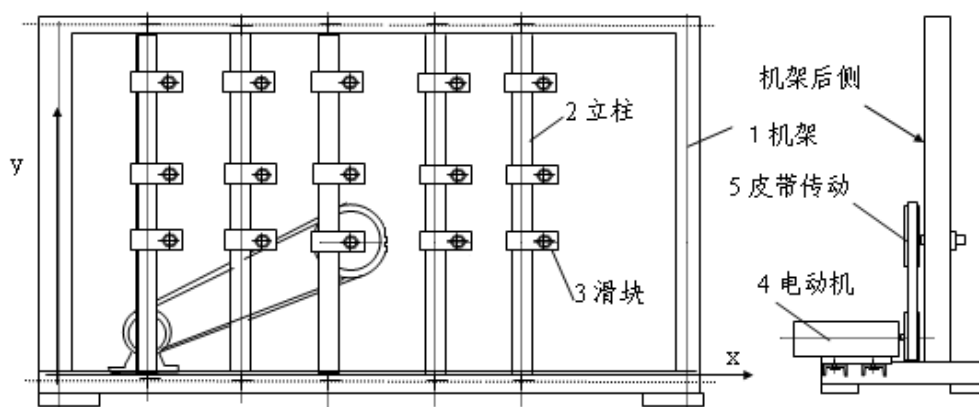


图 2-1 机构组合创新试验台机架

★ 项目学习目标

完成本项目的学习后，学生应具备以下能力：

1. 会判断铰链四杆机构的类型和运动形式。
2. 会计算和测量铰链四杆机构和曲柄滑块机构的极位夹角和压力角。
3. 会使用张紧装置调整皮带的张紧力。

4. 能识别常见机构的运动简图，会绘制机械手的机构运动简图。
5. 会计算机械手的自由度。
6. 会利用图解法进行简单铰链四杆机构的设计。

任务 1 双曲柄车门启闭机构的搭建

【任务目标】

- ① 掌握平面四杆机构的类型。
- ② 会判定铰链四杆机构的基本类型。
- ③ 掌握反向双曲柄机构的运动原理。
- ④ 会对机构组合创新试验台进行操作。

【任务描述】

双曲柄车门启闭机构利用了反平行四边形双曲柄中两曲柄反向运动的特点。其运动简图如图 2-2 所示，杆 AB 与左边门固结， CD 与右边门固结，主动曲柄 AB 转动时，通过连杆 BC 带动从动曲柄 CD 朝着相反方向转动，门随即打开，并且此机构可以保证两扇门同时开启和关闭。

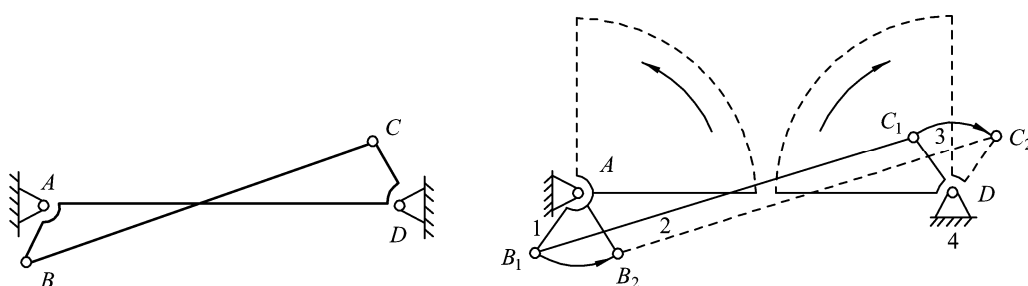


图 2-2 双曲柄车门启闭机构的运动简图

使用双曲柄的车门启闭系统，若使车门同时打开，则要求 AB 杆与 CD 杆有同样的角速度， AB 与 CD 的长度相等，并要保证 $\angle ABC$ 与 $\angle DCB$ 的和为 180° 。其运动模型图如图 2-3

所示。

这种双曲柄的车门启闭系统属于顺开式车门，现在较少应用于公交车车门，常用于汽车车门，在汽车行驶时仍可以借助气流关上，并且便于驾驶员在倒车时向后观察。

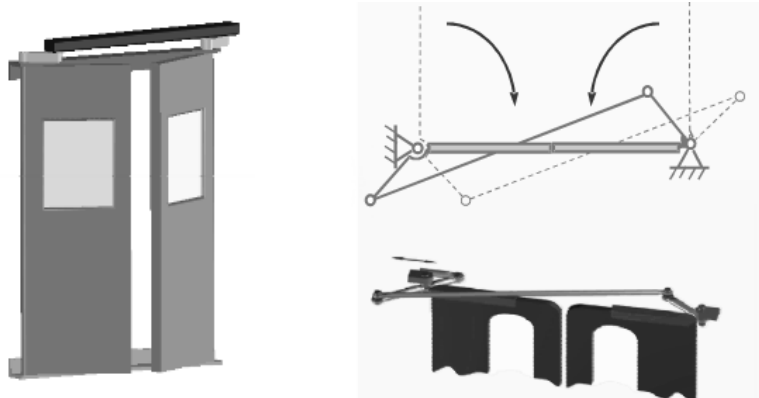


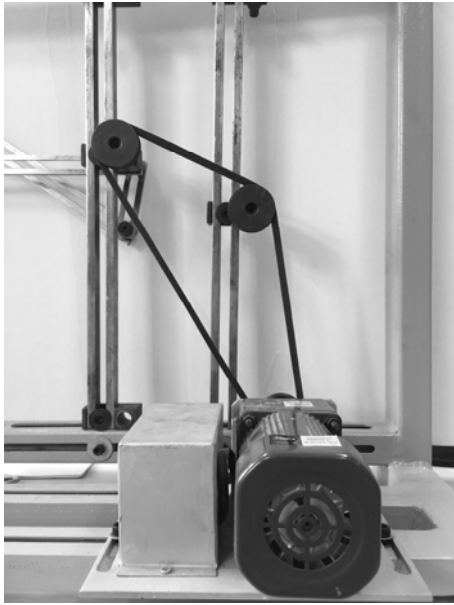
图 2-3 双曲柄车门启闭机构的运动模型图

本任务主要是利用组合创新试验台搭建反向双曲柄机构，主要工作包括：

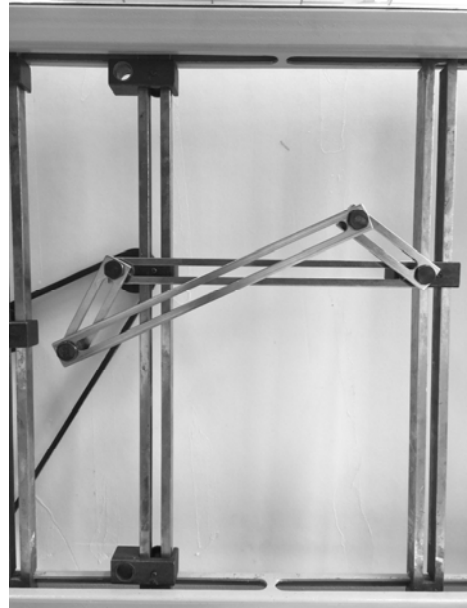
① 搭建反向双曲柄机构，包括固定铰链的搭建、活动铰链的搭建、反向平行四边形双曲柄机构的搭建。

② 搭建带传动机构，包括带轮的连接、皮带的安装、皮带张紧轮的张紧。

搭建完成后的实物如图 2-4 所示。



(a) 动力部分



(b) 机构部分

图 2-4 组建完成后的反向双曲柄机构

【相关知识】

平面连杆机构是由若干个刚性构件用低副连接所组成，其各运动构件均在相互平行的平面内运动。

在平面连杆机构中，结构最简单的且应用最广泛的是由 4 个构件所组成的平面四杆机构，其他多杆机构可看成在此基础上依次增加杆组而组成。

1.1 平面四杆机构的基本型式

所有运动副均为转动副的四杆机构称为铰链四杆机构。它是平面四杆机构的基本型式。在铰链四杆机构中，按连架杆能否做整周转动，可将四杆机构分为以下 3 种基本型式。

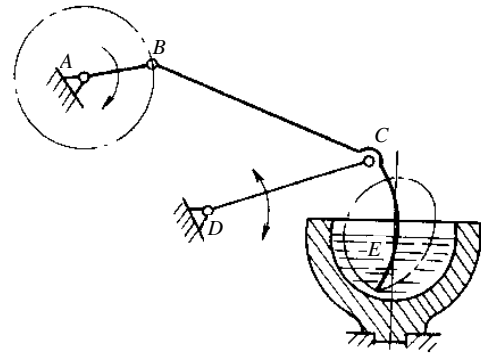


图 2-5 液体搅拌机构

1.1.1 曲柄摇杆机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆中有一个为曲柄，另一个为摇杆，则称为曲柄摇杆机构。

如图 2-5 所示的液体搅拌器。当主动曲柄 AB 回转时，摇杆 CD 做往复摆动，利用连杆上 E 点的轨迹实现对液料的搅拌。

1.1.2 双曲柄机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为曲柄，称为双曲柄机构。其传动特点是：当主动曲柄连续等速转动时，从动曲柄一般不等速转动。

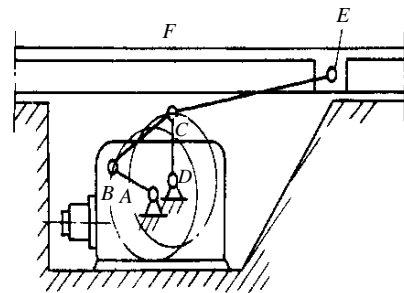


图 2-6 惯性筛机构

如图 2-6 所示的惯性筛即为双曲柄机构。在惯性筛机

构中，主动曲柄 AB 等速回转一周时，曲柄 CD 变速回转一周，使筛子 EF 获得加速度，从而将被筛选的材料分离。

双曲柄机构中有两种特殊机构：平行四边形机构（见图 2-7）和反平行四边形机构（见图 2-8）。

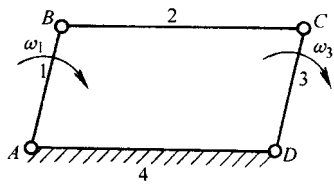


图 2-7 平行四边形机构

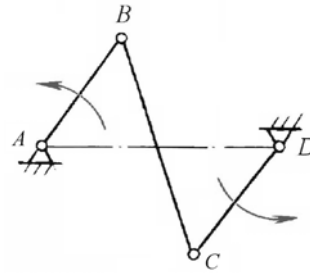


图 2-8 反平行四边形机构

(1) 平行四边形机构

在双曲柄机构中，若两对边构件长度相等且平行，则称为平行四边形机构。其传动特点是：主动曲柄和从动曲柄均以相同角速度转动。

(2) 反平行四边形机构

定义：两曲柄长度相同，而连杆与机架不平行的铰链四杆机构，称为反平行四边形机构。

1.1.3 双摇杆机构

在铰链四杆机构中，若两连架杆均为摇杆，则称为双摇杆机构。

如图 2-9 所示的鹤式起重机，CD 杆摆动时，连杆 CB 上悬挂重物的点 M 在近似水平直线上移动。

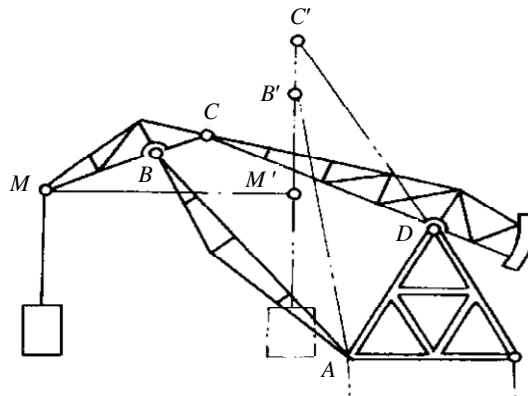


图 2-9 鹤式起重机

1.2 铰链四杆机构中曲柄存在的条件

由上述可知，铰链四杆机构运动形式的不同，主要在于机构中是否存在曲柄。而曲柄是否

存在则取决于各构件相对长度关系和选取哪个构件作机架。下面首先来分析各杆的相对尺寸与曲柄存在的关系。

设图 2-10 (a) 所示的铰链四杆机构 1 为曲柄，2 为连杆，3 为摇杆，4 为机架，各杆的长度分别为 a 、 b 、 c 、 d ，且 $a < d$ 。则在其回转过程中杆 1 和杆 4 一定可实现拉直共线和重叠共线两个特殊位置，即构成 $\triangle BCD$ ，如图 2-10 (b)、(c) 所示。由三角形的边长关系可得：

在图 2-10 (b) 中 $a + d < b + c$

在图 2-10 (c) 中 $d - a + b > c$

即 $a + c < b + d$

$d - a + c > b$

$a + b < c + d$

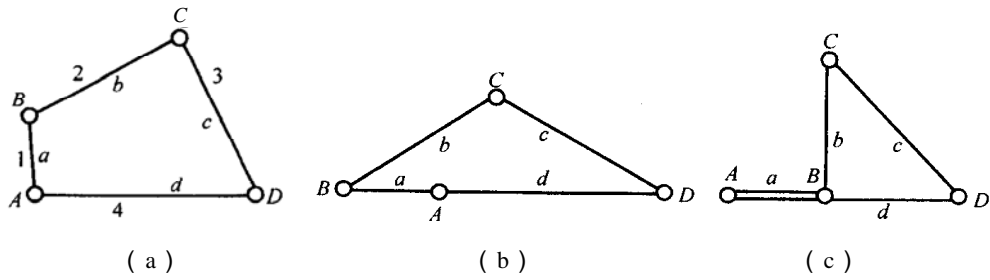


图 2-10 铰链四杆机构的演化

当运动过程中四构件出现四线共线情况时，上述不等式就变成了等式，因此以上三个不等

式改写为：

$a + d \leq b + c$

$a + c \leq b + d$

$a + b \leq c + d$

将以上三式的任意两式相加，可得：

$a \leq b \quad a \leq c \quad a \leq d \quad (2-1)$

同理，当设 $a > d$ 时，可得：

$$d \leq a \quad d \leq b \quad d \leq c$$

由式 (2-1) 可知，曲柄 AB 必为最短杆， BC 、 CD 、 AD 杆中必有一个最长杆。因此可推出

铰链四杆机构中，曲柄存在的条件为：

- ① 连架杆和机架中必有一杆是最短杆，称为最短杆条件。
- ② 最长杆与最短杆的长度之和小于或等于其余两杆长度之和，称为杆长之和条件。

从上述曲柄存在的两个条件可以得到如下推论：铰链四杆机构到底属于哪一种基本型式，

除满足杆长之和条件外，还与选取哪一杆为机架有关：

- ① 最短杆为机架时得到双曲柄机构。
- ② 最短杆的相邻杆为机架时得到曲柄摇杆机构。
- ③ 最短杆的对边杆为机架时得到双摇杆机构。

如果各杆的相对长度关系不满足杆长之和条件时，曲柄不存在，故不管以哪一杆为机架，只能得到双摇杆机构。

1.3 带传动

带传动是一种常用的机械传动装置，通常是由主动轮 1、从动轮 2 和张紧在两轮上的挠性环形带 3 所组成（见图 2-11）。安装时带被张紧在带轮上，当主动轮 1 转动时，依靠带与带轮接触面间的摩擦力或啮合驱动从动轮 2 一起回转，从而传递一定的运动和动力。

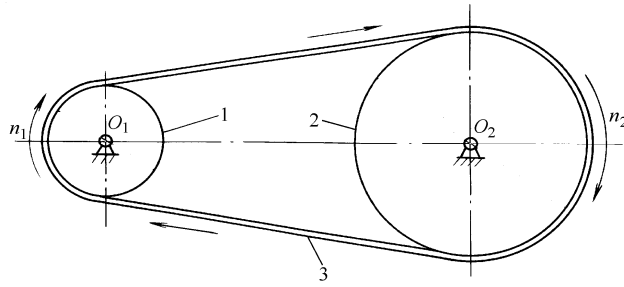


图 2-11 带传动

1—主动轮；2—从动轮；3—带

1.3.1 带传动的主要类型

根据传动原理的不同，带传动可分为两大类：摩擦带传动和啮合带传动。

(1) 摩擦带传动

摩擦带传动是利用具有弹性的挠性带与带轮间的摩擦来传递运动和动力。根据带的形状，又可分为下列几种带传动：

① 平带传动，见图 2-12 (a)。平带的横截面为扁平矩形，其工作面为与带轮面接触的内表面。常用的平带有橡胶帆布带、锦纶带、复合平带、编织带等。

② V 带传动，见图 2-12 (b)。V 带的横截面为梯形，其工作面为与带轮接触的两侧面。V 带与平带相比，由于正压力作用在楔形面上，当量摩擦系数大，能传递较大的功率，结构也紧凑，故应用最广。

③ 多楔带传动，见图 2-12 (c)。多楔带是若干根 V 带的组合，可避免多根 V 带长度不等、传力不均的缺点。适合用于传递动力较大而又要求结构紧凑的场合。

④ 圆带传动，见图 2-12 (d)。圆带横截面是圆形，通常用皮革或棉绳制成。圆带牵引能力小，适用于传递较小功率的场合，如缝纫机、录音机等。

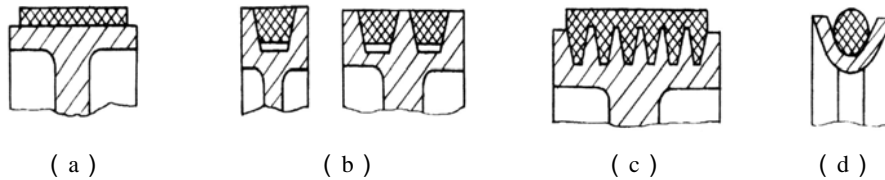


图 2-12 摩擦带的类型

(2) 啮合带传动

啮合带传动是利用啮合传递运动和动力。其又可分为以下两种形式：

① 同步带传动，见图 2-13 (a)。同步带工作时，利用带工作面上的齿与带轮上的齿槽相互啮合，以传递运动和动力。

② 齿孔带传动，见图 2-13 (b)。工作时，带上的孔与轮上的齿相互啮合，以传递运动和动力。

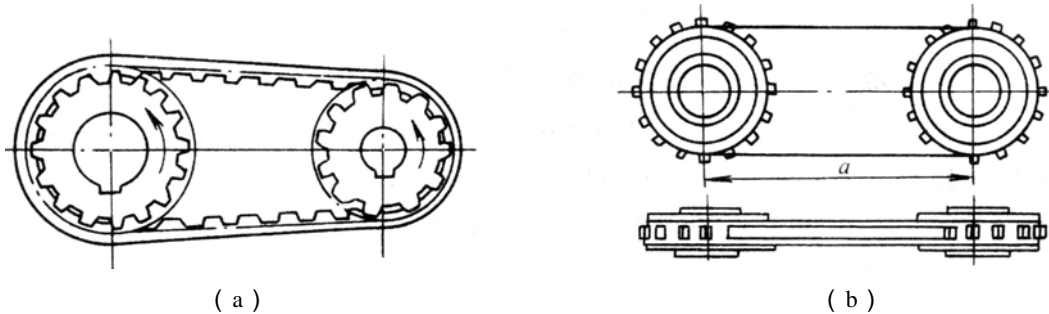


图 2-13 啮合带传动

1.3.2 带传动的特点和应用

(1) 摩擦带传动的特点及应用

摩擦带传动具有以下特点：

- ① 带有弹性，能缓和冲击、吸收振动，故传动平稳、无噪声。
- ② 过载时，带在轮上打滑，具有过载保护作用。
- ③ 结构简单，制造成本低，安装维护方便。
- ④ 带与带轮间存在弹性滑动，不能保证准确的传动比。
- ⑤ 两轴的中心距大，整机尺寸大。
- ⑥ 带需张紧在带轮上，故作用在轴上的压力大。
- ⑦ 传动效率低，带的寿命较短。

摩擦带传动适用于要求传动平稳、传动比要求不是很严格、中小功率及传动中心距较大的场合，不适宜在高温、易燃、易爆及有腐蚀介质的场合下工作。

(2) 啮合带传动的特点及应用

啮合带传动中的同步带传动能保证准确的传动比，其适应的速度范围广 ($v \leq 500 \text{ m/s}$)，传动比大 ($i \leq 12$)，传动效率高 ($\eta = 0.98 \sim 0.99$)，传动结构紧凑，故广泛用于电子计算机、数控机床及纺织机械中。啮合带传动中的齿孔带传动常用于放映机、打印机中，以保证同步运动。

1.3.3 带传动的张紧、安装和维护

V 带在张紧状态下工作了一定时间后会产生塑性变形，因而导致 V 带传动能力下降，为了保证

带传动的传动能力,必须定期检查与重新张紧。常用的张紧方法有以下两种:调整中心距和加张紧轮。

(1) 调整中心距

调整中心距法是带传动常用的张紧方法。例如,用调节螺杆使电动机随摆动杆绕轴摆动,见图 2-14(a),适用于垂直或接近垂直的布置;或用调节螺杆使装有带轮的电动机沿滑轨移动,见图 2-14(b),适用于水平或倾斜不大的布置;或如图 2-14(c)所示,将装有带轮的电动机安装在浮动的摆架上,利用电动机自重,使带始终在一定的张紧力下工作。

(2) 加张紧轮

当中心距不可调节时,采用张紧轮张紧,如图 2-14(d)所示。张紧轮一般应设置在松边内侧,并尽量靠近大带轮。张紧轮的轮槽尺寸与带轮相同,直径应小于带轮的直径,若设置在外侧时,则应使其靠近小轮,这样可以增加小带轮的包角。

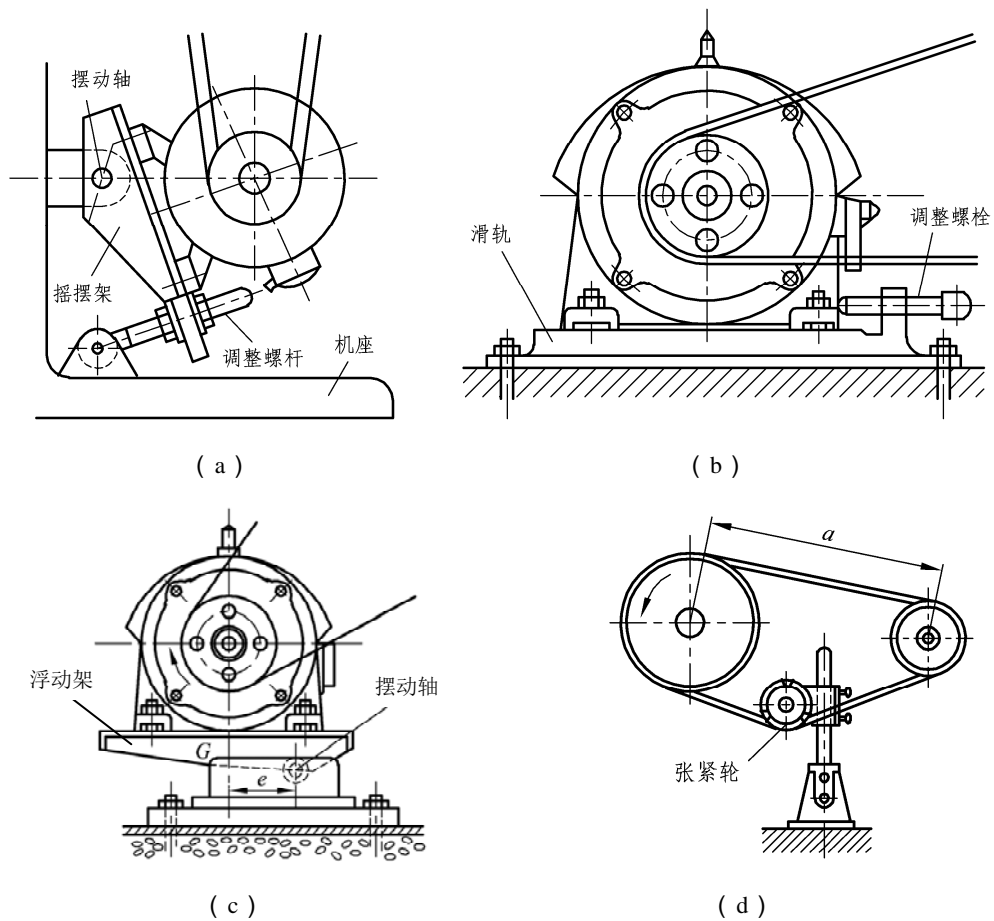


图 2-14 带传动的张紧装置

1.3.4 带传动的安装和维护

(1) 带轮的安装

平行轴传动时，各带轮的轴线必须保持规定的平行度，各轮宽的中心线，V带轮、多楔带轮对应轮槽的中心线，平带轮面凸弧的中心线均应共面且与轴线垂直，否则会加速带的磨损，降低带的寿命，如图 2-15 所示。

① 通常应通过调整各轮中心距的方式来安装带和张紧，切忌硬将传动带从带轮上拔下扳上，严禁用撬棍等工具将带强行撬入或撬出带轮。

② 同组使用的 V 带应型号相同，新旧 V 带不能同时使用。

③ 安装时，应按规定的初拉力张紧，对于中等中心距的带传动，也可凭经验张紧，带的张紧程度以大拇指能将带按下 15 mm 为宜。新带使用前，最好预先拉紧一段时间后再使用。

(2) 带传动的维护

① 带传动装置外面应加保护罩，以确保安全，防止带与酸、碱或油接触而腐蚀传动带。

② 带传动不需润滑，禁止往带上加润滑油或润滑脂，应及时清理带轮槽内及传动带上的油污。

③ 应定期检查传动带，如有一根松弛或损坏，则应全部更换新带。

④ 带传动的工作温度不应超过 60 °C。

⑤ 如果带传动装置闲置时，应将传动带放松。

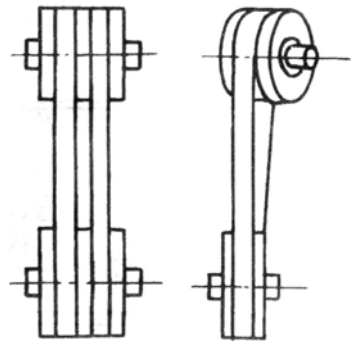
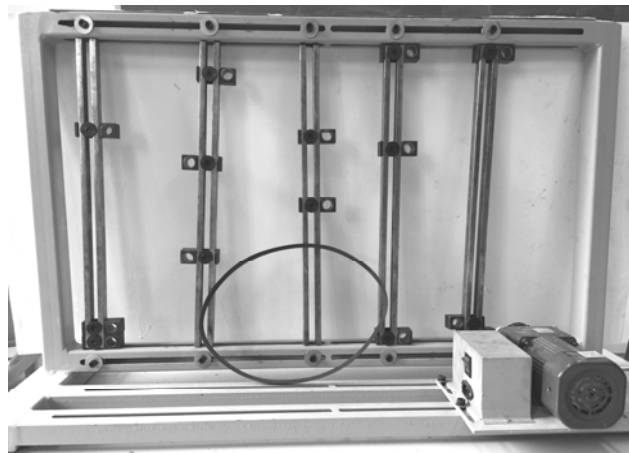


图 2-15 带轮的安装

【任务实施】

1. 工具及材料准备

组装双曲柄车门启闭机构所需的机构组合创新试验台如图 2-16 所示。



(a) 组合试验台机架




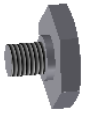

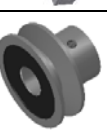
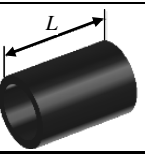


(b) 组合试验台零件箱

图 2-16 机构组合创新试验台套件

进行双曲柄机构组建前，要对所需组件进行选择。需要的组件及工具如表 2-1 所示。

表 2-1 组建双曲柄机构所需的组件及工具

序号	名称	图示	规格	数量	备注
1	主动轴		$L = 20$ $L = 5$	各 1	连接电机
2	从动轴		$L = 20$	1	
3	盘杆转动轴		$L = 20$	2	
4	带垫片螺栓		M6	6	
5	压紧螺栓		M6	1	
6	皮带轮		小孔径	3	1 个主动轮 1 个从动轮 1 个张紧轮
7	层面限位套		$L = 5$	8	

8	平垫圈		16	5	
9	螺母		M14	3	
10	V形皮带		950 mm	1	
11	连杆		$L = 100$ $L = 300$	各 2	
12	活动铰链座		螺孔 M8	3	
12	呆扳手		22-24	1	
13	内六角扳手		$\phi 5$ $\phi 6$	各 1	

2. 搭建带传动装置并张紧

首先需要对接双曲柄机构的动力输入部分进行搭建。该动力由慢速电动机输出，通过带传动，输出给双曲柄机构的曲柄，实现双曲柄的运动。

进行带传动搭建的步骤如下：

① 根据皮带的尺寸，调整电动机的位置，使从动轮的位置处于试验台的中间位置，位置调好后，固定电机螺栓。

② 组建活动铰链座，安装顺序如图 2-17 所示。

③ 安装主动轮和从动轮，并将皮带安装到皮带轮上，移动活动铰链座，绷紧皮带，并固定好活动铰链座。

④ 用张紧轮对皮带进行张紧。将张紧轮安装到铰链座上，并通过皮带，稍用力固定。用安装锤轻敲铰链座，慢慢上移，使皮带在张紧轮的作用下产生预拉力，防止皮带打滑。

带传动组装完成后如图 2-18 所示。

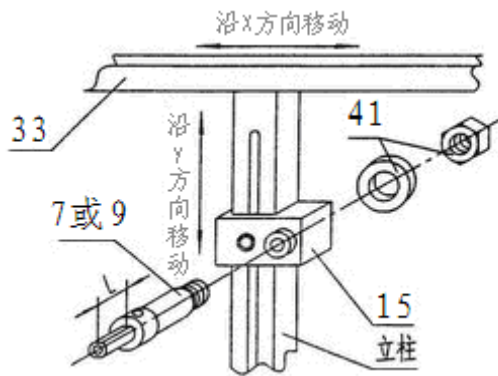


图 2-17 活动铰链座的安装顺序图



图 2-18 传动带的安装与张紧

3. 搭建双曲柄机构

双曲柄机构又称为反向平行四边形机构，为了实现车门的同时启闭，要求两个曲柄的长度相同，而根据杆长之和条件可知，连杆和固定杆也必定相等。

搭建双曲柄机构的步骤如下：

① 组建活动铰链座，并进行长杆的固定，组装步骤如图 2-19 所示。固定长杆的目的是能够准确地构建平行四边形，不需要进行调整。

② 将其中一根曲柄与带传动的从动轮固定在同一活动铰链座上，并用压紧螺栓压紧，保证主动曲柄与从动轮具有相同的角速度。

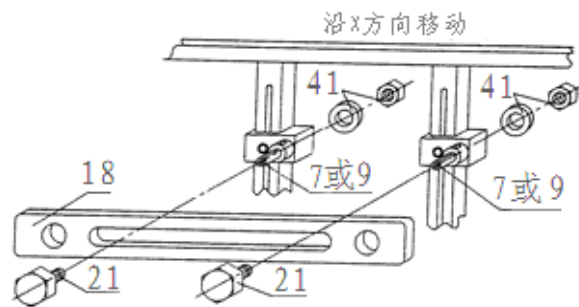


图 2-19 固定杆的连接方法

③ 将另外一根曲柄固定到活动铰链座上，并用带垫片的螺栓固定，让曲柄可以自由转动。

将连杆连接两根曲柄，注意连杆与固定杆应该交叉，构成反向平行四边形机构。

曲柄和连杆的连接方法参照固定杆的连接，构建完成的机构如图 2-20 所示。

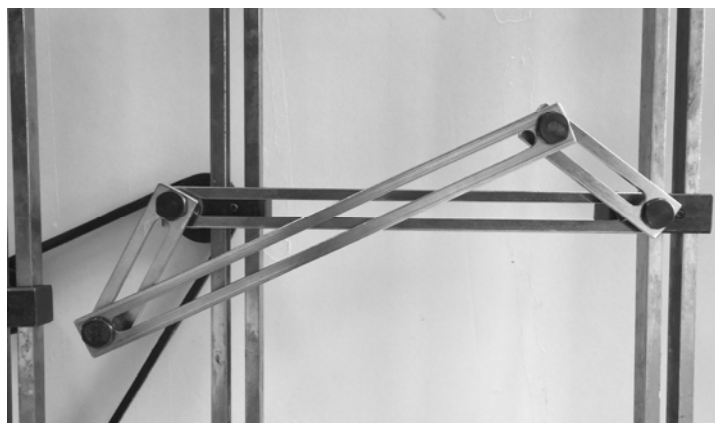


图 2-20 反向双曲柄机构

【综合练习】

① 利用机构组合创新实验平台搭建双曲柄机构，并观察运动规律。

② 利用机构组合创新实验平台搭建如图 2-21 所示的插齿机主传动机构。

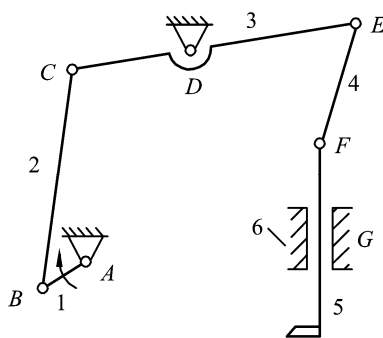


图 2-21 插齿机主传动机构

任务 2 曲柄滑块车门启闭机构的搭建