

《机械工程基础实验》

实 验 指 导 书

机械原理实验 2

机构组合创新设计平台实验

浙江大学机械工程实验教学中心

2024 年 9 月

实验三 机构组合创新设计平台实验

一、实验问题的提出

在实际工程应用中,机器的执行部分的运动形式通常是多种多样的,对其动力性能的要求也复杂多样。而这些复杂多样的运动形式和动力性能的要求通常都是由各种复杂机构来实现的。任何复杂机构都是由一些基本机构通过型综合和巧妙地组合得到的。因此,机构的组合设计实验有其工程上的应用价值。

二、实验目的

- 1、加深对机构组成理论的认识,为机构创新设计奠定基础;
- 2、通过拼接不同的平面机构,培养机构运动创新设计意识及综合设计的能力;
- 3、训练工程实践动手能力。

三、实验原理

机构具有确定运动的条件是其原动件数应等于其所具有的自由度数,如将机构的机架及与机架相连的原动件从机构中拆分开来,则由其构件构成的构件组必然是一个自由度为零的构件组。而这个自由度为零的构件组有时还可以再拆分,把最后不可再拆的最简单的自由度为零的构件组称为基本杆组。

任何机构都可以看作是由若干基本杆组依次连接于原动件和机架上而构成的,这是机构的组成原理。

执行机构常见的运动形式有回转运动、直线运动和曲线运动,是实验方案的第一设计目标。

执行机构的运动有运动学和动力学的要求。因此我们必须对设计好的传动系统中的重要运动构件进行运动学和动力学分析(速度、加速度分析),使执行构件满足运动要求(如工作行程与回程的速度要求,惯性力要求,工作行程要求等)。

四、机构创新设计平台的基本组件

- 1) 齿轮:模数 2,压力角 20° ,齿数为 28、35、42、56,中心距组合为:63、70、77、84、91、98;
- 2) 凸轮:基圆半径 20 mm,升回型,从动件行程为 30 mm;
- 3) 齿条:模数 2,压力角 20° ,单根齿条全长为 400 mm;
- 4) 槽轮:4 槽槽轮;
- 5) 拨盘:可形成两销拨盘或单销拨盘;
- 6) 主动轴:轴端带有一平键,有圆头和扁头两种结构型式(可构成回转或移动副);
- 7) 从动轴:轴端无平键,有圆头和扁头两种结构型式(可构成回转副或移动副);
- 8) 移动副:轴端带扁头结构形式(可构成移动副);
- 9) 转动副轴(或滑块):用于两构件形成转动副或移动副;
- 10) 复合铰链 I(或滑块):用于三构件形成复合转动副或形成转动副+移动副;
- 11) 复合铰链 II:用于四构件形成复合转动副;
- 12) 主动滑块插件:插入主动滑块座孔中,使主动运动为往复直线运动;
- 13) 主动滑块座:装入直线电机齿条轴上形成往复直线运动;
- 14) 活动铰链座 I:用于在滑块导向杆(或连杆)以及连杆的任意位置形成转动——移动副;
- 15) 活动铰链座 II:用于在滑块导向杆(或连杆)以及连杆的任意位置形成转动副或移动副;

- 16) 滑块导向杆（或连杆）；
- 17) 连杆 I：有六种长度不等的连杆；
- 18) 连杆 II：可形成三个回转副的连杆；
- 19) 压紧螺栓：规格 M5，使连杆与转动副轴固紧，无相对转动且无轴向窜动；
- 20) 带垫片螺栓：规格 M5，防止连杆与转动副轴的轴向分离，连杆与转动副轴能相对转动；
- 21) 层面限位套：限定不同层面间的平面运动构件距离，防止运动构件之间的干涉；
- 22) 紧固垫片：限制轴的回转；
- 23) 高副锁紧弹簧：保证凸轮与从动件间的高副接触；
- 24) 齿条护板：保证齿轮与齿条间的正确啮合；
- 25) 组装、拆卸工具：固定扳手、活动扳手、内六角扳手、钢板尺、角度尺等

五、实验平台机架及搭建方式

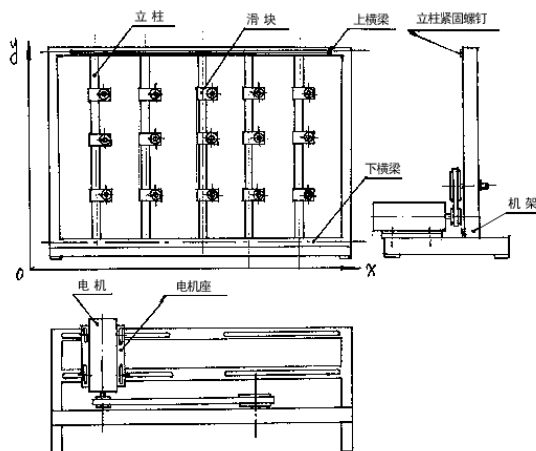


图 3-1 实验平台机架

实验台机架中有 5 根铅垂立柱，均可沿 X 方向移动。移动前应旋松在电机侧安装在上、下横梁上的立柱紧固螺钉，并用双手移动立柱到需要的位置后，将立柱与上（或下）横梁靠紧再旋紧立柱紧固螺钉（立柱与横梁不靠紧旋紧螺钉时会立柱在 X 方向发生偏移）。注：立柱紧固螺钉只需旋松即可，不允许将其旋下。

机架立柱上的滑块可在立柱上沿 Y 方向移动，要移动立柱上的滑块，只需将滑块上的内六角平头紧定螺钉旋松即可（该紧定螺钉在靠近电机侧）。

按上述方法移动立柱和滑块，就可在机架的 X、Y 平面内确定固定铰链的位置。

1. 主、从动轴与机架的连接

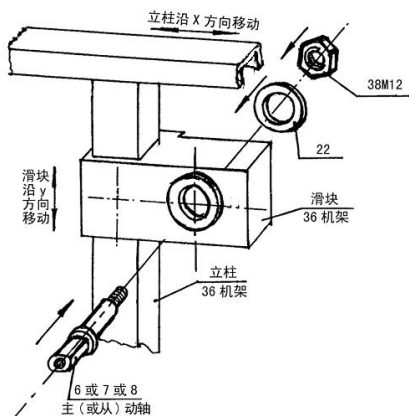


图 3-2 主、从动轴与机架的连接图

按图 3-2 所示方法将轴联接好后，主（或从）动轴相对机架不能转动，与机架成为刚性联接；若垫片(件 22)不装配，则主（或从）动轴可以相对机架作旋转运动。

2. 转动副的连接

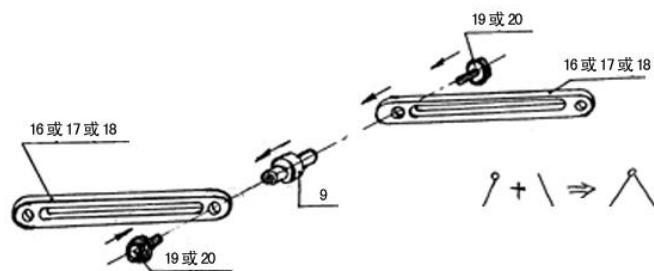


图 3-3 转动副的连接图

按图 3-3 示联接好后，采用压紧螺栓（件 19）联接，连杆与转动副轴（件 9）无相对运动；采用带垫片螺栓（件 20）联接，连杆与件 9 可相对转动，从而形成两连杆的相对旋转运动。

3. 移动副的连接

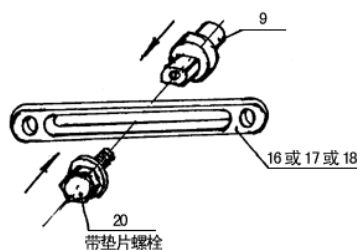


图 3-4 移动副的连接图

4. 活动铰链座I（件 14）的安装

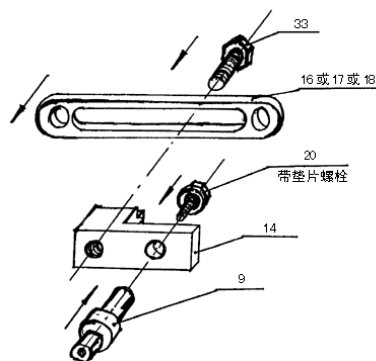


图 3-5 活动铰链座 I 的安装图

如图 3-5 联接，可在连杆任意位置形成铰链，且转动副轴（件 9）如图装配，就可在铰链座 I（件 14）上形成回转副或形成回转——移动副。

5. 活动铰链座II（件 15）的安装

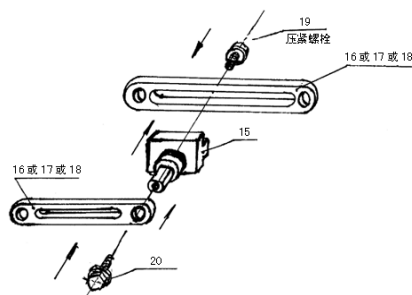


图 3-6 活动铰链座 II 的安装图

如图 3-6 连接, 可在连杆任意位置形成铰链, 从而形成回转副。

6. 复合铰链轴 I (件 10) 的安装 (或转-移动副)

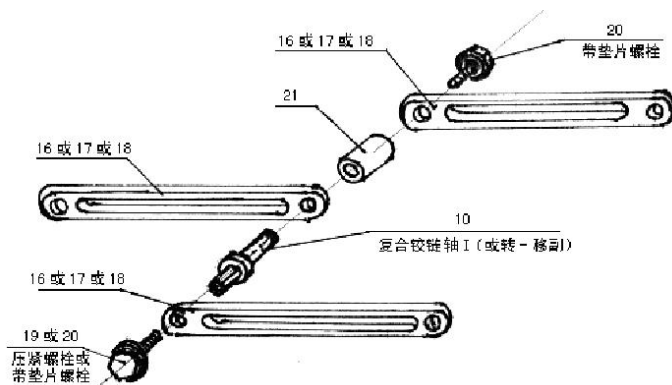


图 3-7 复合铰链轴 I 的安装图

将复合铰链轴 I 铣平端插入连杆长槽中时构成移动副, 而联接螺栓均应用带垫片螺栓。

7. 复合铰链轴 II (件 11) 的安装

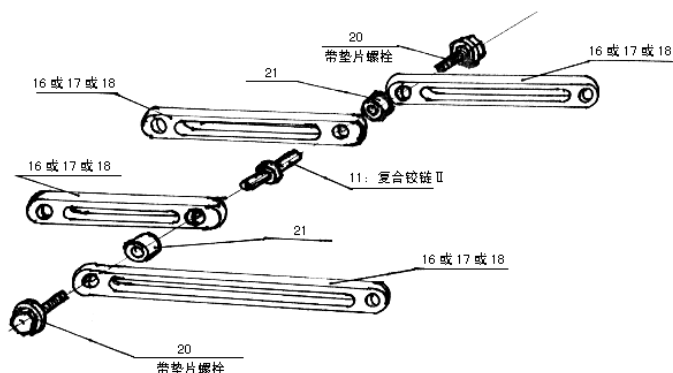


图 3-8 复合铰链轴 II 的安装图

复合铰链轴 I 联接好后, 可构成三构件组成的复合铰链, 也可构成复合铰链+移动副; 复合铰链轴 II 联接好后, 可构成四构件组成的复合铰链。

8. 齿轮与主 (从) 动轴的连接图 (图 3-9)

9. 凸轮与主 (从) 动轴的连接图 (图 3-10)

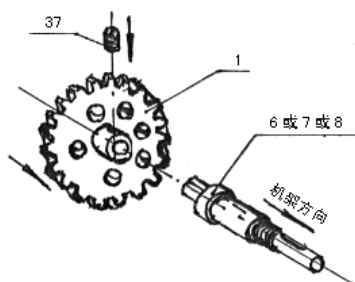


图 3-9 齿轮与主 (从) 动轴的连接图

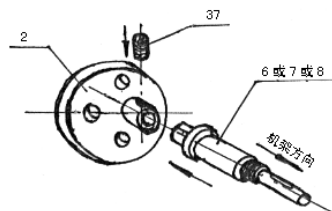


图 3-10 凸轮与主 (从) 动轴的连接图

10. 槽轮机构连接

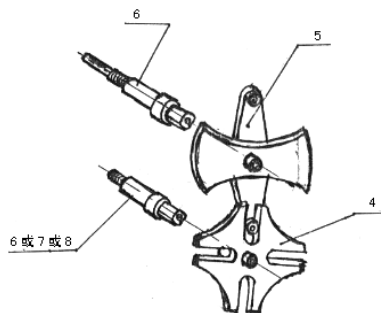


图 3-11 槽轮机构的连接图

拨盘装入主动轴后，应在拨盘上拧入紧定螺钉，使拨盘与主动轴无相对运动；同时槽轮装入主（从）动轴后，也应拧入紧定螺钉，使槽轮与主（从）动轴无相对运动。

11. 齿条相对机架的连接

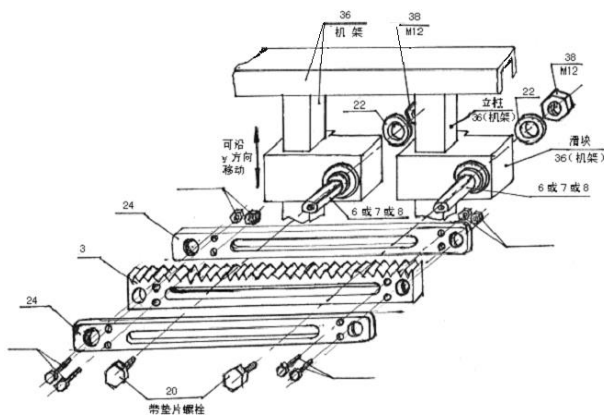


图 3-12 齿条相对机架的连接图

六、实验方法与步骤

- 1、熟悉实验设备的零件组成及零件功用。
- 2、选择实验书中提供的机构运动方案作为搭建内容，画出机构运动简图并计算其自由度。

(1) 内燃机机构

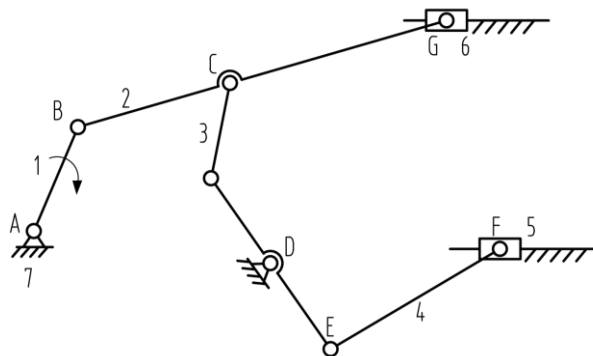


图 3-13 内燃机机构图

机构组成：曲柄滑块与摇杆滑块组合机构。

工作特点：当曲柄 1 作连续转动时，滑块 6 作往复直线移动，同时摇杆 DE 作往复摆动带动滑块 5 作往复直线移动。

该机构用于内燃机中，滑块 6 在压力气体作用下作往复直线运动（故滑块 6 是实际的主动件），

带动曲柄 1 回转并使滑块 5 往复运动使压力气体通过不同路径进入滑块 6 的左、右端并实现进排气。

(2) 精压机机构

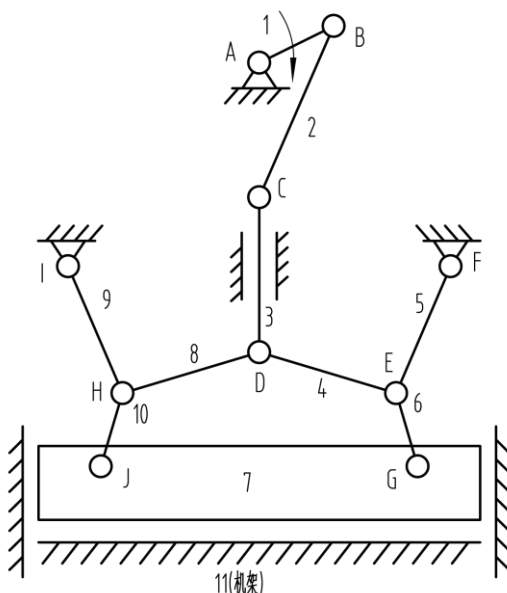


图 3-14 精压机机构图

机构组成：该机构由曲柄滑块机构和两个对称的摇杆滑块机构所组成。对称部分由杆件 4→5→6→7 和杆件 8→9→10→7 两部分组成，其中一部分为虚约束。

工作特点：当曲柄 1 连续转动时，滑块 3 上、下移动，通过杆 4→5→6 使滑块 7 作上下移动，完成物料的压紧。对称部分 8→9→10→7 的作用是使构件 7 平稳下压，使物料受载均衡。

用途：如钢板打包机、纸板打包机、棉花打捆机、剪板机等均可采用此机构完成预期工作。

(3) 牛头刨床机构

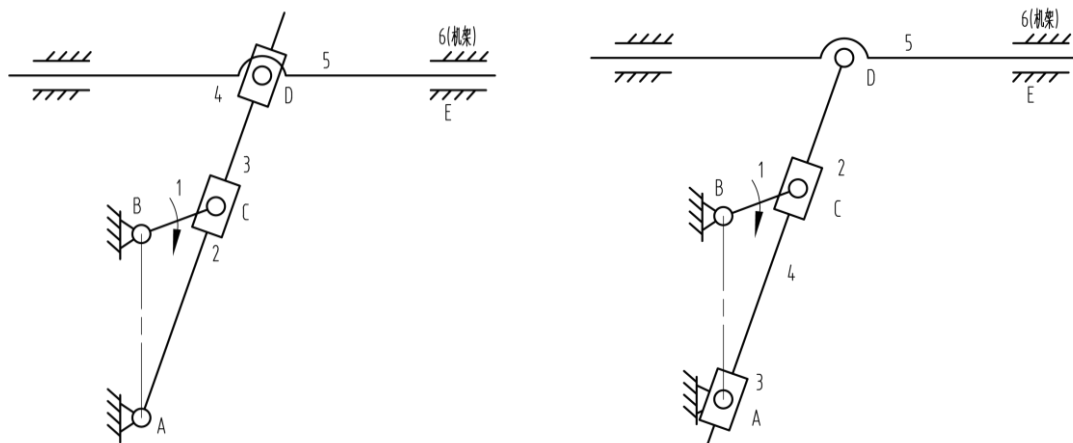


图 3-15 牛头刨床机构

机构组成：牛头刨床机构由摆动导杆机构与双滑块机构组成。

在左图中，构件 2、3、4 组成两个同方位的移动副，且构件 3 与其它构件组成移动副两次；右图则是将左图中 D 点滑块移至 A 点，使 A 点移动副在箱底处，易于润滑，使移动副摩擦损失减少，机构工作性能得到改善。

工作特点：当曲柄 1 回转时，导杆 3 绕点 A 摆动并具有急回性质，使杆 5 完成往复直线运动，并具有工作行程慢进，非工作行程快回的特点。

(4) 六杆机构

结构说明：图 3-16 所示，由曲柄摇杆机构 1-2-3-6 与摆动导杆机构 3-4-5-6 组成六杆机构。曲柄 1 为主动件，摆杆 5 为从动件。

工作特点：当曲柄 1 连续转动时，通过杆 2 使摆杆 3 作一定角度的摆动，再通过导杆机构使摆杆 5 的摆角增大。

应用举例：用于缝纫机摆梭机构。

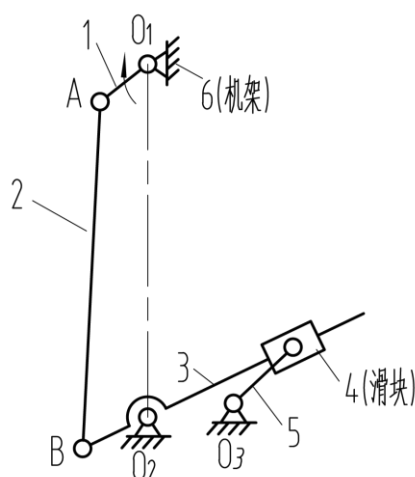


图 3-16 六杆机构

(5) 双摆杆摆角放大机构

结构说明：如图 3-17，主动摆杆 1 与从动摆杆 3 的中心距 a 应小于摆杆 1 的半径。

工作特点：当主动摆杆 1 摆动 α 角时，从动杆 3 的摆角 β 大于 α ，实现摆角增大，各参数之间的关系为：

$$\beta = 2 \arctg \frac{\frac{r}{a} \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\frac{r}{a} - \sec \frac{\alpha}{2}}$$

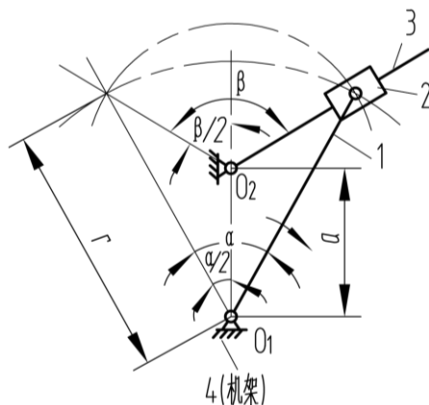


图 3-17 双摆杆摆角放大机构

注：由于是双摆杆，所以不能用电机带动，只能用手动方式观察其运动，若要电机带动，则可按图 3-18 所示方式拼接。

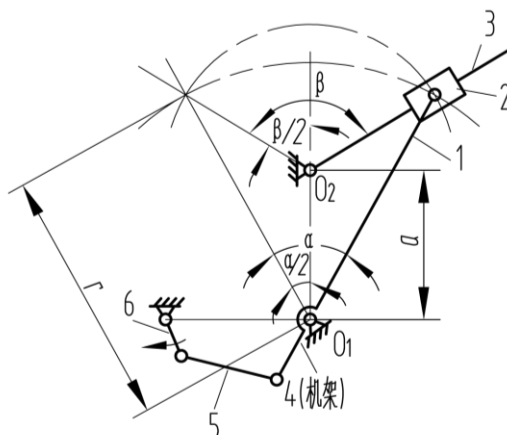


图 3-18 双摆杆摆角放大机构

(6) 铰链四杆机构

结构说明：图 3-19 所示，双摇杆机构 ABCD 的各构件长度满足条件：机架 $AB=0.64BC$ ，摇杆 $AD=1.18BC$ ，连杆 $DC=0.27BC$ ，E 点为连杆 CD 延长线上的点，且 $DE=0.83BC$ 。BC 为主动摇杆。

工作特点：当主动摇杆 BC 绕 B 点摆动时，E 点轨迹为图中点画线所示，其中 E 点轨迹有一段近似直线。

应用举例：可作固定式港口用起重机，E 点处安装吊钩。利用 E 点的轨迹的近似直线段吊装货物，能符合吊装设备的平稳性要求。

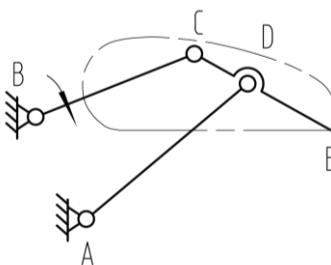


图 3-19 铰链四杆机构

注：由于是双摇杆，所以不能用电机带动，只能用手动方式观察其运动。若要电机带动，则可按图 3-20 所示方式拼接。

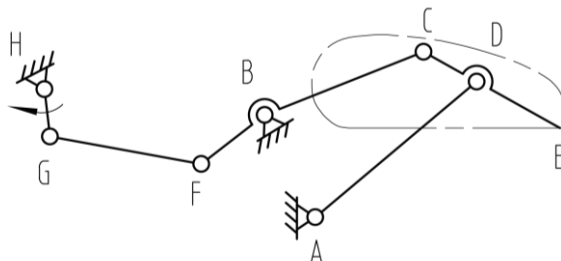


图 3-20 铰链四杆机构

(7) 冲压送料机构

结构说明：图 3-21 所示，1-2-3-4-5-9 组成导杆摇杆滑块冲压机构，由 1-8-7-6-9 组成齿轮凸轮送

料机构。冲压机构是在导杆机构的基础上，串联一个摇杆滑块机构组合而成的。

工作特点：导杆机构按给定的行程速度变化系数设计，它和摇杆滑块机构组合可达到工作段近于匀速的要求。适当选择导路位置，可使工作段压力角 α 较小。在工程设计中，按机构运动循环图确定凸轮工作角和从动件运动规律，则机构可在预定时间将工件送至待加工位置。

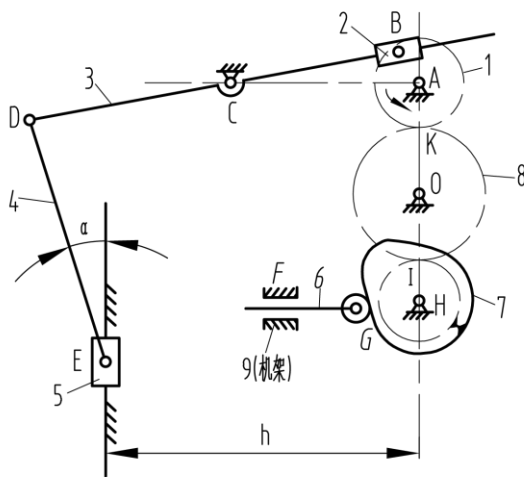


图 3-21 冲压送料机构

(8) 插床的插削机构

结构说明：图 3-22 所示，在 ABC 摆动导杆机构的摆杆 BC 反向延长线的 D 点上加二级杆组连杆 4 和滑块 5，成为六杆机构。在滑块 5 固接插刀，该机构可作为插床的插削机构。

工作特点：主动曲柄 AB 匀速转动，滑块 5 在垂直 AC 的导路上往复移动，具有较大急回特性。改变 ED 连杆的长度，滑块 5 可获得不同的规律。

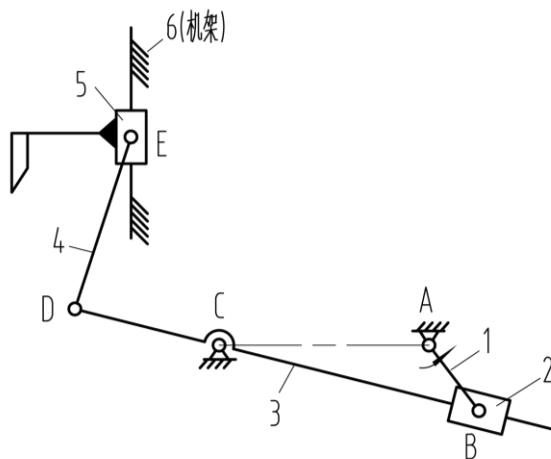


图 3-22 插床的插削机构

(9) 插齿机主传动机构

结构说明及工作特点：图 3-23 所示为多杆机构，可使它既具有空回行程的急回特性，又具有工作行程的等时性。

应用举例：应用于插齿机的主传机构。该机构是一个六杆机构，利用此六杆机构可使插刀在工作行程中得到近于等速的运动。

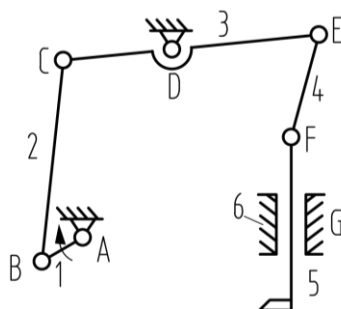


图 3-23 插齿机主传动机构

(10) 刨床导杆机构

结构说明及工作特点：图 3-24 所示，牛头刨头的动力是由电机经皮带、齿轮传动使齿轮 1 绕轴 A 回转，再经滑块 2、导杆 3、连杆 4 带动装有刨刀的滑枕 5 沿床身 6 的导轨槽作往复直线运动，从而完成刨削工作。显然，导杆 3 为三副构件，其余为二副构件。

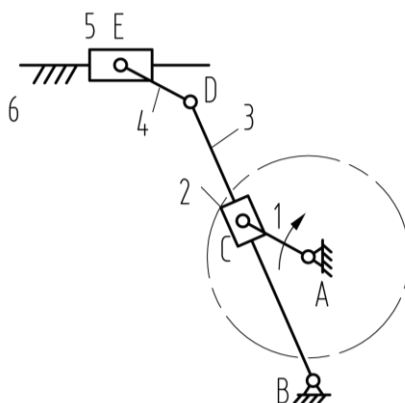


图 3-24 刨床导杆机构

(11) 曲柄增力机构

结构说明及工作特点：图 3-25 所示机构，当 BC 杆受力 F，CD 杆受力 P，则滑块产生的压力

$$Q = \frac{FL \cos \alpha}{S}$$

由上式可知：减小 α 和 S 与增大 L，均能增大增力倍数。因此设计时，可根据需要的增力倍数决定 α 和 S 与 L，即决定滑块的加力位置，再根据加力位置决定 A 点的位置和有关的构件长度。

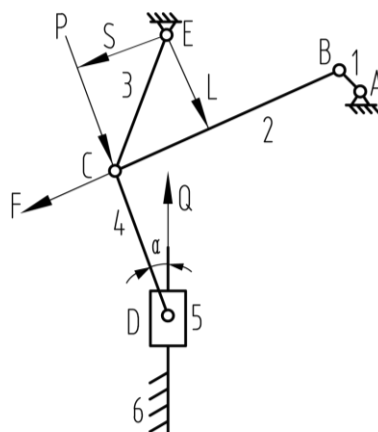


图 3-25 曲柄增力机构

- 3、搭建运动方案，并拍照记录。
- 4、数据处理，记录下杆长及各轴之间的相互位置关系，可计算出各点的速度、加速度。

七、实验注意事项

在我们设计机构运动方案的时候，有时计算出来的自由度有可能不为 1，可能是 2 甚至是 3 或 4，这时，我们要通过压紧螺栓等零件来增加机构的约束。

在搭建机构的时候，要注意相关平面之间的关系，可用垫片来控制不同平面之间的距离，以免产生不同装配平面之间的干涉而出现的卡死现象。

八、实验内容

- 1、选择指导书中的机构运动方案作为搭建内容，机构搭建完毕后拍照留存，在机构照片基础上画出运动方案简图，标识实测所得的机构运动学尺寸。说明所搭建机构的运动传递过程和机构运动特性，优化机构方案，作图定量说明。
- 2、从实验室机构模型中测绘三个组合机构，计算自由度并绘制机构运动简图。
- 3、由本实验所得到的机构装配经验设计一有创意的机构运动方案，用简图表示，并作简要说明（选做题）