

第2章

题 2-3 (a)、(c)、(e)、(f)

(a)

【解】C处为复合铰链，构件2、3、4构成2个转动副。

活动构件数 $n = 7$

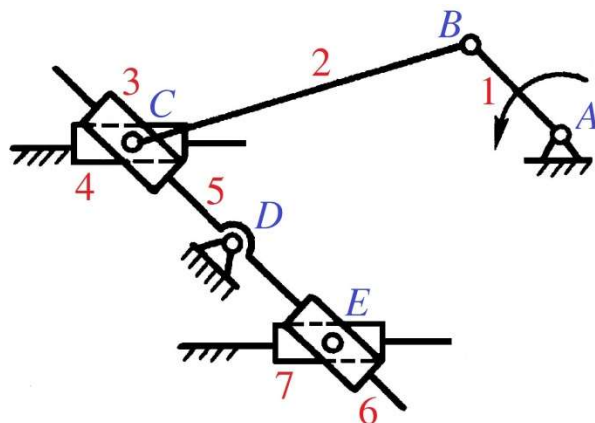
构件2、3、4构成2个转动副；A、B、D、E各有1个转动副，共6个转动副。

构件3与构件5，构件4与机架，构件5与构件6，构件7与机架各构成一个移动副，共4个移动副。

共10个低副，没有高副。 注意E处不是复合铰链。

自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$

构件1是原动件，原动件数等于机构的自由度，机构具有确定的运动。



(c)

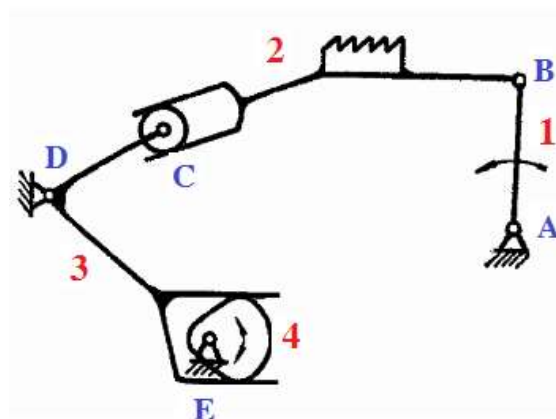
【解】C处为局部自由度，滚子与构件3固联作为一个构件看待。

活动构件 $n = 4$ ，低副（转动副） $P_L = 4$ ，分别为构件1与机架转动副，构件1与构件2转动副，构件3与机架转动副，构件4与机架转动副；高副（滚滑副） $P_H = 2$ ，分别为构件2与构件3滚滑副，构件3与构件4滚滑副。

不要忘记与机架的转动副

$F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 4 - 2 \times 4 - 2 = 2$

构件1与4是原动件，原动件数等于机构的自由度，机构具有确定的运动。



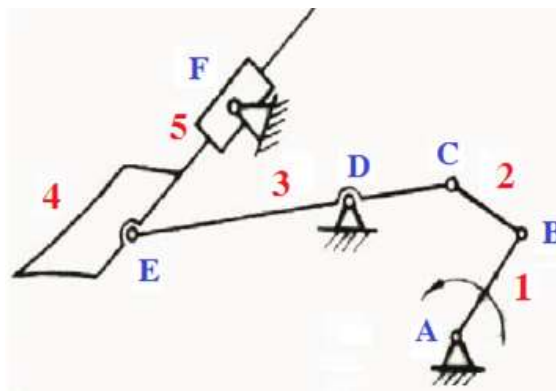
(e)

【解】活动构件数 $n = 5$ ，A、B、C、D、E 各有一个转动副，F有1个转动副及1个移动副。

低副数 $P_L = 5 + 1 + 1 = 7$ ，高副数 $P_H = 0$

自由度 $F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 5 - 2 \times 7 - 0 = 1$

构件1是原动件，原动件数等于机构的自由度，机构具有确定的运动。

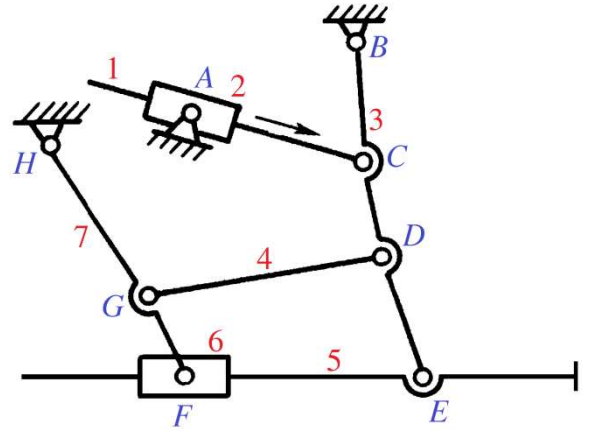


(f)

【解】活动构件 $n=7$ ，转动副 8 个，分别是 A、B、C、D、E、F、G、H 各有一个转动副；移动副 2 个，分别是构件 1 与构件 2 构成一个移动副，构件 5 与构件 6 构成一个移动副，低副共 10 个，没有高副。

$$\text{自由度 } F = 3n - 2P_L - P_H = 3 \times 7 - 2 \times 10 - 0 = 1$$

构件 1 是原动件，原动件数等于机构的自由度，机构具有确定的运动。



说明：计算平面机构自由度，首先判断机构是否存在复合铰链、局部自由度、虚约束这三种特殊情况。若有，首先考虑这些特殊情况，然后再按照自由度公式进行计算。

第 3 章

题 3-1

解：

a) 最短杆+最长杆=50+120=170mm 其余两杆长度之和=80+110=190mm

最短杆+最长杆 < 其余两杆长度之和，满足杆长条件。

最短杆为机架，因此为双曲柄机构。

b) 最短杆+最长杆=50+110=160mm 其余两杆长度之和=90+70=160mm

最短杆+最长杆=其余两杆长度之和，满足杆长条件。

最短杆为连架杆，因此为曲柄摇杆机构。

c) 最短杆+最长杆=50+120=170mm 其余两杆长度之和=80+80=160mm

最短杆+最长杆 > 其余两杆长度之和，不满足杆长条件。

因此为双摇杆机构。

d) 最短杆+最长杆=40+110=150mm 其余两杆长度之和=80+80=160mm

最短杆+最长杆 < 其余两杆长度之和, 满足杆长条件。

最短杆为连杆, 因此为双摇杆机构。

题 3-3

解:

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta} = \frac{180^\circ + 60^\circ}{180^\circ - 60^\circ} = 2$$

因此, 返回行程平均速度 v_2 是工作行程平均速度 v_1 的 2 倍。

题 3-6

解: 图略, 作图关键: 找圆心, 确定圆的半径

$$K = \frac{180 + \theta}{180 - \theta} \quad \gamma_{\min} \text{ 为两个 } \gamma_{\min} \text{ 的较小值。}$$

$$\theta = 21^\circ, K \approx 1.26, \quad \gamma_{\min} \approx 26^\circ$$

第 6 章

题 6-1

【解】拉杆螺栓联接属于松联接, 拉杆螺栓仅受工作载荷 F 作用

1. 屈服强度 σ_s

拉杆材料为 Q215, 拉杆螺栓性能等级为 4.6 级, 由表 2-4, 屈服强度 $\sigma_s = 240\text{MPa}$, 未经淬火。

2. 安全系数 S_s

由表 2-6，松螺栓联接，未经淬火的钢， $S_s=1.2$

3. 许用应力 $[\sigma]$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S_s} = \frac{240}{1.2} = 200 \text{ MPa}$$

4. 强度条件（设计条件）

$$\sigma = \frac{F}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \leq [\sigma]$$

$$\text{即 } d_1 \geq \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 30 \times 1000}{\pi \times 200}} = 13.82 \text{ mm}$$

5. 螺栓直径

由附表 2-1，选择 M16 的粗牙普通螺栓，其螺纹小径 $d_1=13.835\text{mm}$ ，满足要求。

题 6-2

【解】

1. 由附表 2-1 M20 螺栓， $d_1=17.294\text{mm}$

2. 螺栓的许用应力 $[\sigma]$

由表 2-4，螺栓性能等级 5.8 级，屈服强度 $\sigma_s=400\text{MPa}$ （与 420MPa 相比，取较小值，偏安全考虑），螺栓推荐材料为低碳钢或中碳钢，

由表 2-6，安装时不控制预紧力，M16~M30，安全系数 $S_s=4\sim 2.5$ ，作线性插值，M20 的安全系数 $S_s=3.57$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S_s} = \frac{400}{3.57} = 112 \text{ MPa}$$

3. 计算螺栓的预紧力 F'

$$\sigma = \frac{1.3F'}{\frac{\pi}{4} d_1^2} \leq [\sigma]$$

$$\text{即 } F' \leq \frac{[\sigma] \pi d_1^2}{4 \times 1.3} = \frac{112 \times \pi \times 17.294^2}{4 \times 1.3} = 20227 \text{ N}$$

4. 联接允许传递的最大静载荷 F_R

$$zF' \mu m = KF_R$$

$$\text{即 } F_R = \frac{z \mu m F'}{K} \leq \frac{2 \times 0.1 \times 2 \times 20227}{1.2} = 6742.3 \text{ N}$$

该联接允许传递的最大静载荷为 6742.3N。

题 6-6

【解】液压缸与液压盖的联接属于既受预紧力，又受轴向工作载荷的螺栓组联接。

1. 螺栓的工作载荷

液压缸盖螺栓组所受的工作载荷

$$F_z = p \frac{\pi D_2^2}{4} = 4 \times \frac{\pi \times 160^2}{4} = 80384 N$$

单个螺栓所受的工作载荷

$$F = \frac{F_z}{z} = \frac{80384}{8} = 10048 N$$

2. 螺栓所受的总拉力

由表 2-3，安装时用定力矩扳手拧紧，即有紧密性要求，取剩余预紧力

$$F'' = 1.65F = 1.65 \times 10048 = 16579.2 N$$

螺栓所受的总拉力 $F_0 = F'' + F = 16579.2 + 10048 = 26627.2 N$

3. 螺栓的许用应力 $[\sigma]$

由表 2-4，螺栓性能等级 4.8 级，屈服强度 $\sigma_s = 320 \text{MPa}$ ，螺栓材料为 35 钢

由表 2-6，控制预紧力的安全系数 $S_s = 1.2 \sim 1.5$ ，取中间值 $S_s = 1.35$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_s}{S_s} = \frac{320}{1.35} = 237 \text{MPa}$$

4. 螺栓直径

$$\sigma = \frac{1.3F_0}{\frac{\pi}{4}d_1^2} \leq [\sigma]$$

$$\text{即 } d_1 \geq \sqrt{\frac{4 \times 1.3F_0}{\pi[\sigma]}} = \sqrt{\frac{4 \times 1.3 \times 26627.2}{\pi \times 237}} = 13.64 \text{mm}$$

由附表 2-1，选择 M16 的粗牙普通螺栓，其螺纹小径 $d_1 = 13.835 \text{mm}$ 。

5. 校核螺栓间距

由表 2-9，对压力容器等有密封性要求的重要联接，工作应力 $p = 1.6 \sim 4 \text{MPa}$ ，螺栓间距 $t < 4.5d$

$$t = \frac{\pi D_0}{z} = \frac{\pi \times 220}{8} = 86.35 \text{mm}$$

而 $4.5d = 4.5 \times 16 = 72 \text{mm}$ ， $t > 4.5d$ ，不满足间距要求。

由附表 2-1, 改选 M20, 其螺纹小径 $d_1=17.294\text{mm}$ 。

$4.5d = 4.5 \times 20 = 90\text{mm}$, 满足间距要求。

题 6-10

【解】

1. 选择键的类型、材料, 确定键的尺寸

齿轮安装在轴端, 选择普通平键 C 型 (也可以选择 A 型)

平键材料选择 45 钢 (常用材料)

根据轴径 $d=80\text{mm}$, 由附表 2-7, 键的尺寸为 $b=22\text{mm}$, $h=14\text{mm}$

根据轮毂长度 $B=1.5d=1.5 \times 80=120\text{mm}$, 结合图示, 取键的长度 $L=110\text{mm}$ (或者 $L=100\text{mm}$, 比轮毂宽度稍短)

键的标记: GB/T 1096 键 $22 \times 14 \times 110$

2. 键联接允许传递的最大转矩

普通平键构成静联接, 按挤压强度计算最大转矩

齿轮材料为钢, 载荷有轻微冲击, 由表 2-12, 许用挤压应力 $[\sigma_p]=100 \sim 120\text{MPa}$, 取中间值 $[\sigma_p]=110\text{MPa}$

键的工作长度:

$$l = L - b/2 = 110 - 22/2 = 99\text{mm} \quad (\text{或者 } l = L - b/2 = 100 - 22/2 = 89\text{mm})$$

键联接的强度条件:

$$\sigma_p = \frac{4T}{dhl} \leq [\sigma_p]$$

$$\text{即 } T \leq [\sigma_p] \cdot \frac{dhl}{4} = 110 \times \frac{80 \times 14 \times 99}{4} = 3049200\text{N} \cdot \text{mm} = 3049.2\text{N} \cdot \text{m}$$

$$(\text{或者 } T \leq [\sigma_p] \cdot \frac{dhl}{4} = 110 \times \frac{80 \times 14 \times 89}{4} = 2741200\text{N} \cdot \text{mm} = 2741.2\text{N} \cdot \text{m})$$

键联接传递的最大转矩为 $2741.2\text{N} \cdot \text{m}$ 。

说明: 根据选择键的类型、键的长度不同, 本题答案不唯一。