

# 机械原理习题解答

天津大学 西北工业大学 北京航空学院  
上海交通大学 北京钢铁学院 清华大学 合编

1980.4.

# 前 言

《机械原理习题解答》系配合天津大学等六院校合编的《机械原理》试用教材（人民教育出版社，1979），对该书中所编列的习题做出解答。稿件由原书各章编写的同志提供，并由我室校核订正、编印成册，供有关教师参考。为使这本习题解答能更好地为各校教师服务，特作如下几点说明：

1. 本习题解答必须与该《机械原理》教材配合使用。为了节省篇幅，题目和插图不再重复印刷，又解答中所引用的公式、插图以及符号的意义，一般也不再加以说明，请参考原书。

2. 本习题解答主要供教师参考，如需向学生公布答案或题解时，应在学生独立解题完毕之后（为此，每章题解的开头都另起一张纸。对于业余自学的同志或在校的学生持有本习题解答者，务希独立解题完毕后，再与本习题解答对照进行研究，以便正确发挥本习题解答的作用。

3. 为了尽量减少差错，我们对解答内容进行了核算与校正。由于时间仓促和水平所限，特别是未经试用，一定会有不少缺点和错误，深望各兄弟院校的同志和读者给予批评、指正。

4. 为了使读者能更好地使用原书，本书在最后的附录中附有天津大学等六院校合编的《机械原理》上册的勘误表。

天津大学机械原理及机械零件教研室

一九八〇年三月

# 目 录

|      |                  |         |
|------|------------------|---------|
| 第一章  | 机构的结构分析习题解答      | ( 1 )   |
| 第二章  | 平面机构的运动分析习题解答    | ( 4 )   |
| 第三章  | 平面机构的力分析习题解答     | ( 13 )  |
| 第四章  | 运动副中的摩擦和机械效率习题解答 | ( 24 )  |
| 第五章  | 平面连杆机构习题解答       | ( 28 )  |
| 第六章  | 空间连杆机构习题解答       | ( 40 )  |
| 第七章  | 平面高副机构的设计基础习题解答  | ( 45 )  |
| 第八章  | 凸轮机构习题解答         | ( 50 )  |
| 第九章  | 齿轮机构习题解答         | ( 63 )  |
| 第十章  | 轮系习题解答           | ( 72 )  |
| 第十一章 | 间歇运动机构习题解答       | ( 75 )  |
| 第十二章 | 机构的组合与选型习题       | ( 79 )  |
| 第十三章 | 机械系统动力学习题解答      | ( 85 )  |
| 第十四章 | 机械的平衡习题解答        | ( 100 ) |
| 附录   | 《机械原理》上册勘误表      | ( 114 ) |

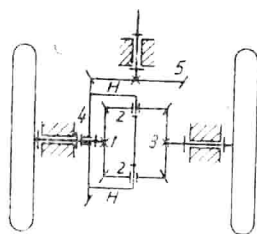
## 第一章 机构的结构分析习题解答

1-1 解 因该机构是平面机构，且其中活动构件数  $n = 6$ ，V级副数  $p_5 = 8$ ，IV级副数  $p_4 = 1$ ，故根据式 (1-4) 可得此机构的自由度为

$$\omega = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 6 - 2 \times 8 - 1 \times 1 = 1.$$

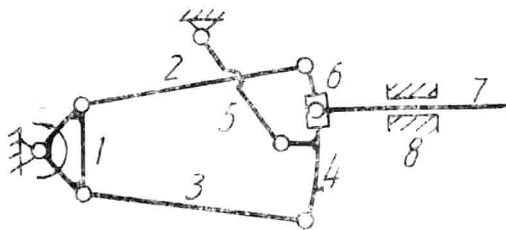
1-2 解 如图可见（注意：轮架与车身应为V级转动副），此轮系系由圆锥齿轮所组成，故其自由度也可用式 (1-4) 来计算。又由于在此轮系中  $n = 5$ （在研究该轮系的运动时，只考虑一个行星轮）， $p_5 = 5$ ， $p_4 = 3$ ，故该轮系的自由度为

$$\begin{aligned} \omega &= 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 5 \\ &\quad - 2 \times 5 - 1 \times 3 = 2. \end{aligned}$$



题 1—2 图

1-3 解 由图可以看出，此配气机构的原动部分为偏心盘 1，执行部分为配气阀 7。而整个机构系由偏心盘 1、连杆 2 及 3、月牙板 4、调整杆 5、滑块 6、配气阀 7 及机架 8 等八个构件所组成。其中除月牙板 4 和滑块 6 及配气阀 7 与机架 8 分别构成移动副外，偏心盘 1 同时与机架 8、连杆 2 及连杆 3 构成转动副，连杆 2、连杆 3 及调整杆 5 分别与月牙板 4 构成转动副，滑块 6 与配气阀杆 7、调整杆 5 与机架 8 也分别构成转动副。将此机构的结构情况搞清楚后，即不难绘出其运动简图如图所示。



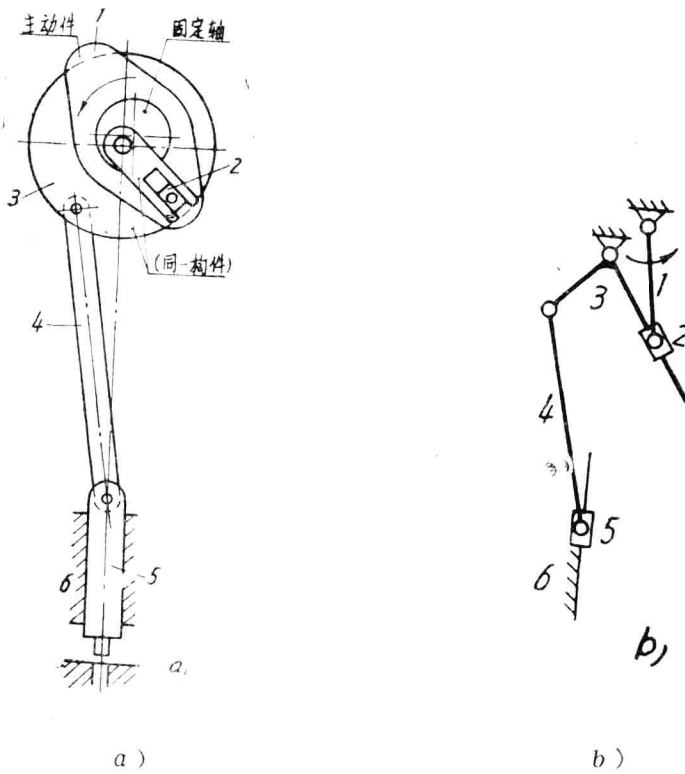
题 1—3 图

又因此配气机构为平面机构，且其中  $n = 7$ ， $p_5 = 10$ ， $p_4 = 0$ ，故根据式 (1-4) 可求得其自由度为

$$\omega = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 7 - 2 \times 10 = 1.$$

1-4 解 如题 1—4 图 a 所示，在此冲床中拨盘 1 为主动件，冲头 5 为执行部分。当拨盘 1 连续回转时，通过拨盘 1 上的滑块 2 拨动构件 3 回转，然后通过连杆 4 而带动冲头 5 上下往复移动。在此机构中，滑块 2 与构件 3、冲头 5 与机架 6 分别构成移动副，其余，在构件 1、6，1、2，3、6，3、4 及 4、5 之间均构成转动副。将此机构的结构情况搞清楚后，即不难绘出其运动简图如题 1—4 图 b 所示。而此机构的自由度为

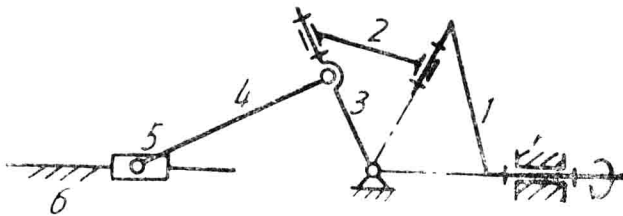
$$\omega = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1.$$



题 1—4 图

1—5 解 此机构的运动简图可以很容易地绘出如图所示。现在再来计算其自由度：根据式 (1—2)，因  $L = p + 1 - N = 7 + 1 - 6 = 2$ ，知此机构为一双环闭链。即闭链 6—1—2—3—6 及闭链 6—3—4—5—6，但因前者为球面机构，后者为平面机构，它们的公共约束数相同，即均为  $m = 3$ ，故此机构的自由度可以直接用式 (1—4) 求出。又因在此机构中  $n = 5$ ， $p_5 = 7$ ， $p_4 = 0$ ，故其自由度为

$$\omega = 3n - 2p_5 - p_4 = 3 \times 5 - 2 \times 7 = 1.$$

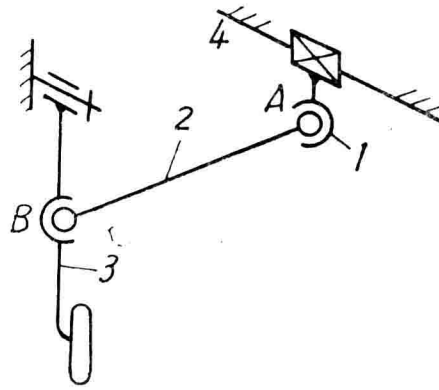


题 1—5 图

1—6 解 机构的运动简图如图所示。

机构自由度的计算：因机构中  $n = 3$ ， $p_5 = 2$ ， $p_3 = 2$ ， $p_4 = p_2 = p_1 = 0$ ，故其自由度为

$$\omega = 6n - 5p_5 - 3p_3 = 6 \times 3 - 5 \times 2 - 3 \times 2 = 2.$$

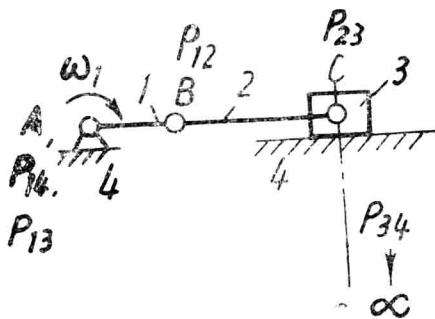


题 1—6 图

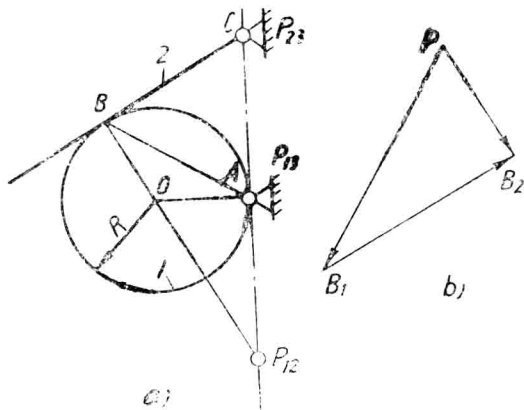
## 第二章 平面机构的运动分析习题解答

2-1 解 
$$P_{13} \begin{cases} P_{12} \\ P_{14} \end{cases} \quad P_{23} \begin{cases} P_{23} \\ P_{34} \end{cases} \rightarrow \text{与 } A \text{ 点重合。}$$

$$v_3 = P_{14} P_{13} \times \omega_1 = 0$$



题 2-1 图



题 2-2 图

2-2 解 1)  $\mu_L = \frac{4\text{mm}}{\text{mm}}, \mu_v = \frac{0.05\text{m/s}}{\text{mm}}$

2) 瞬心法: 联接  $BO$  与  $CA$  相交得相对瞬心  $P_{12}$  (图 a)

$$\omega_2 = \omega_1 \times P_{13} P_{12} / P_{23} P_{12} = 20 \times 1/2 = 10 \text{ rad/s } (^{\circ})$$

3) 相对运动图解法 (图 b):

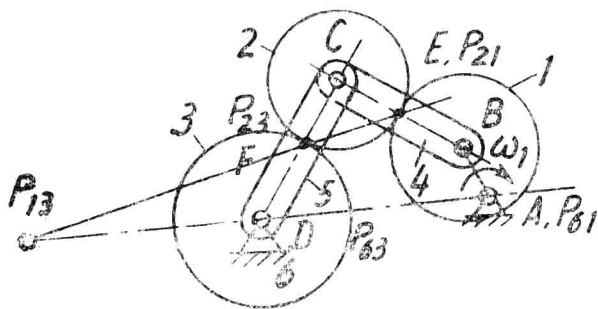
$$\vec{v}_{B2} = \vec{v}_{B1} + \vec{v}_{B2B1}$$

$$v_{B1} = AB \times \omega_1 = 86.6 \times 20 = 1732 \text{ mm/s} = 1.732 \text{ m/s}$$

$$\omega_2 = \frac{v_{B2}}{BC} = \frac{\mu_v \times (pb_2)}{BC} = \frac{0.05 \times 17.3 \times 1000}{86.6} = 10 \text{ rad } (^{\circ})$$

2-3 解  $P_{13}$  在  $A(P_{61})D(P_{63})$  和  $E(P_{21})F(P_{23})$  的交点处。

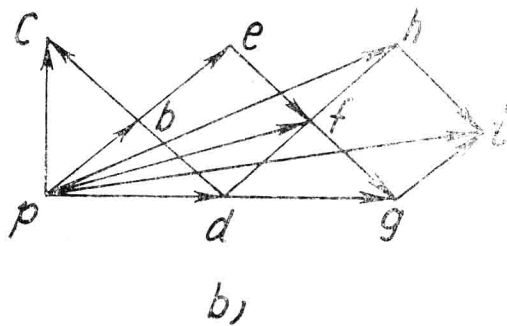
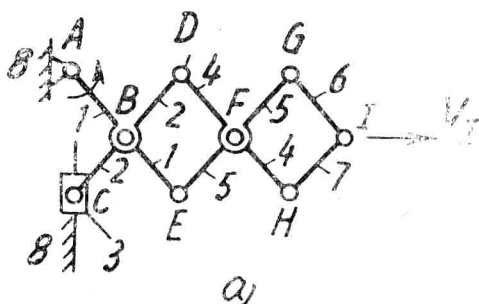
$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{DP_{13}}{AP_{13}} \end{aligned}$$



题 2-3 图

2-4 解 1)  $\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$

2)  $\frac{pc}{pb} = \frac{AE}{AB}, \quad \frac{bc}{bd} = \frac{BC}{BD}$



题 2-4 图

3)  $\vec{v}_F = \vec{v}_D + \vec{v}_{FD} = \vec{v}_E + \vec{v}_{FE}$

4)  $\frac{dh}{df} = \frac{DH}{DF}, \quad \frac{eg}{ef} = \frac{EG}{EF}$

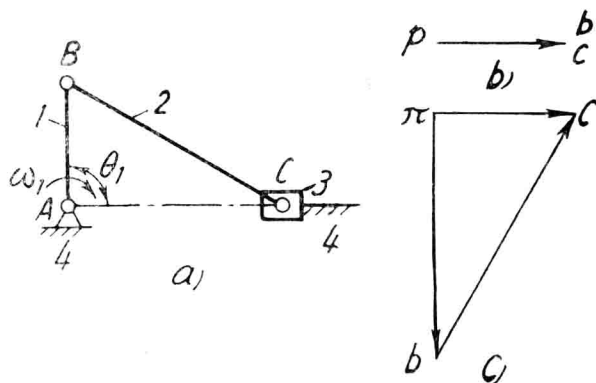
5)  $\vec{v}_I = \vec{v}_G + \vec{v}_{IG} = \vec{v}_H + \vec{v}_{IH}$

6)  $v_I = \mu_v(pi)$

2-5 解 1)  $\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$



$$\begin{aligned} \vec{v}_C &= \vec{v}_3 = \vec{v}_B = 4 \text{ m/s} \\ \omega_2 &= 0 \\ 2) \quad \vec{a}_C &= \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \\ a_B &= AB \times \omega_1^2 = 0.1 \times 40^2 = 160 \text{ m/s}^2 \\ a_{CB}^n &= BC \times \omega_2^2 = BC \times 0^2 = 0 \\ a_C &= \mu_a \times (\pi c) = a_3 = 92.4 \text{ m/s}^2 \quad (\rightarrow) \end{aligned}$$



题 2—5 图

2—6 解 将机构看成一曲柄摇杆机构  $ABCO$  进行速度和加速度分析。关于  $s_2$  点的影象可利用比例线段求出。

$$\begin{aligned} 1) \quad \mu_l &= \frac{0.2 \text{ cm}}{\text{m m}}, \quad \mu_v = \frac{0.5 \text{ m/s}}{\text{m m}}, \quad \mu_a = \frac{150 \text{ m/s}^2}{\text{m m}} \\ 2) \quad \vec{v}_C &= \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} \quad (\text{参阅题 3—2 图 b}) \\ v_B &= AB \times \omega_1 = 0.0762 \times 300 = 22.86 \text{ m/s} \\ v_C &= \mu_v \times (pc) = 13.5 \text{ m/s} \\ v_{s_2} &= \mu_v \times (ps_2) = 18.5 \text{ m/s} \\ \omega_2 &= 67.4 \text{ rad/s} (\searrow), \quad \omega_3 = 75.8 \text{ rad/s} (\swarrow) \\ 3) \quad \vec{a}_C^n + \vec{a}_C^t &= \vec{a}_B^n + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \quad (\text{参阅题 3—2 图 c}) \\ a_B^n &= AB \times \omega_1^2 = 0.0762 \times 300^2 = 6858 \text{ m/s}^2 \\ a_{CB}^n &= BC \times \omega_2^2 = 0.178 \times 67.4^2 = 808.6 \text{ m/s}^2 \\ a_C^n &= DC \times \omega_3^2 = 0.178 \times 75.8^2 = 1023 \text{ m/s}^2 \\ a_C &= \mu_a \times (\pi c) = 7050 \text{ m/s}^2 \\ a_{s_2} &= \mu_a \times (\pi s_2) = 5550 \text{ m/s}^2 \\ \varepsilon_2 &= 46000 \text{ rad/s}^2 (\swarrow), \quad \varepsilon_3 = 39000 \text{ rad/s}^2 (\swarrow) \end{aligned}$$

2—7 解 1)  $\mu_l = \frac{5mm}{mm}$ ,  $\mu_v = \frac{0.2m/s}{mm}$ ,  $\mu_a = \frac{8m/s^2}{mm}$

2)  $\vec{v}_{C2} = \vec{v}_B + \vec{v}_{C2B} = \vec{v}_{C3} + \vec{v}_{C2C3}$

$$v_{B2} = AB \times \omega_1 = 0.1 \times 40 = 4m/s$$

$$v_{C2} = v_{s2} = v_{B2} = 4m/s$$

$$\omega_2 = 0$$

3)  $\vec{a}_{C2} = \vec{a}_B + \vec{a}_{C2B}^n + \vec{a}_{C2B}^t = \vec{a}_B + 0 + \vec{a}_{C2B}^t$

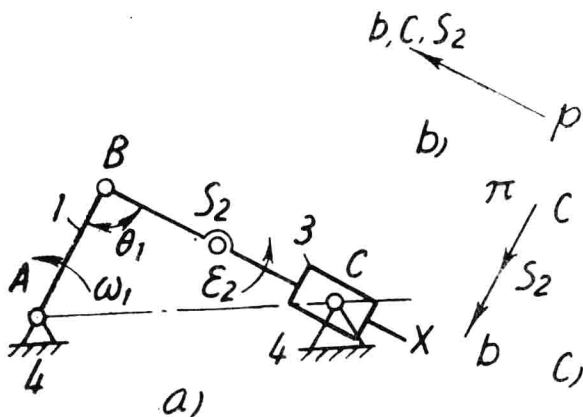
$$\vec{a}_{c2} = \vec{a}_{c3} + \vec{a}_{c2c3}^k + \vec{a}_{c2c3}^r = 0 + 0 + \vec{a}_{c2c3}^r$$

$$a_B = AB \times \omega_1^2 = 0.1 \times 40^2 = 160m/s^2$$

$$a_{c2B}^t = 160m/s^2$$

$$a_{s2} = 80m/s^2$$

$$\varepsilon_2 = a_{c2B}^t / BC = 160 / 0.1732 = 924rad/s^2 (\swarrow)$$



题 2—7 图

2—8 解 原题中“已知 $\omega_1 = 20rad/s$ ”,应改为“已知曲柄 1 等速转动, $\omega_1 = 20rad/s$ ”。

1)  $\mu_l = \frac{5mm}{mm}$ ,  $\mu_v = \frac{0.1m/s}{mm}$ ,  $\mu_a = \frac{1m/s^2}{mm}$ 。

2)  $\vec{v}_{B3} = \vec{v}_B + \vec{v}_{BB3}$

$$v_B = AB \times \omega_1 = 0.1 \times 20 = 2m/s$$

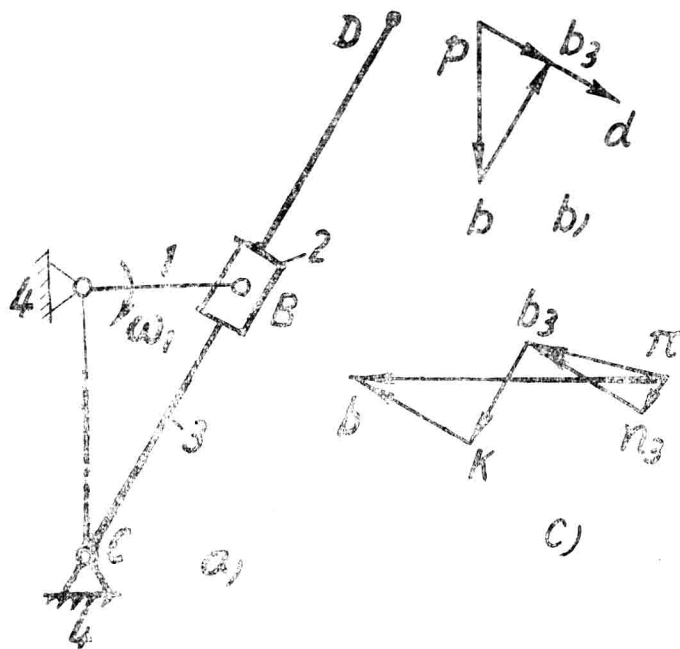
$$v_D = 2m/s$$

$$\omega_2 = \omega_3 = \frac{v_{B3}}{BC} = \frac{1}{0.2} = 5rad/s (\swarrow)$$

3)  $\vec{a}_B = \vec{a}_{B3}^n + \vec{a}_{B3}^t + \vec{a}_{BB3}^r + \vec{a}_{BB3}^k$

$$a_B = AB \times \omega_1^2 = 0.1 \times 20^2 = 40m/s^2$$

$$a_{B3}^n = BC \times \omega_3^2 = 0.2 \times 5^2 = 5m/s^2$$



题 2—8 图

$$a_{B3}^K = 2 \times \omega_3 \times v_{B3} = 2 \times 5 \times 1.73 = 17.3 \text{ m/s}^2$$

$$a_{B3} = \mu_a \times (\pi b_3) = 18 \text{ m/s}^2$$

$$a_D = 2 \times a_{B3} = 36 \text{ m/s}^2$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon_3 = a_{B3}^i / BC = \mu_a (n_3 b_3) / BC = 85 \text{ rad/s}^2$$

2-9 解 原题中“在图示导杆机构中，已知角速度 $\omega_1$ ，”应改为“在图示导杆机构中，构件 1 等速转动，已知角速度 $\omega_1$ ”。

$$1) \vec{v}_B = \vec{v}_{B3} + \vec{v}_{BB3}$$

$$2) \vec{a}_B = \vec{a}_{B3}^n + \vec{a}_{B3}^t + \vec{a}_{BB3}^r + \vec{a}_{BB3}^K$$

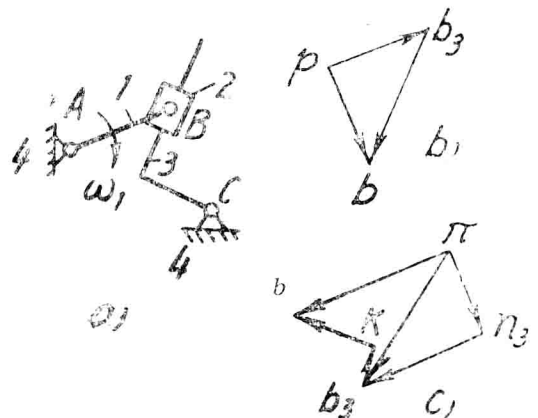
注意： $\vec{v}_{B3}$ 的方向与 $B_3C$ 垂直，而 $\vec{a}_{B3}^n$

的方向则由 $B_3$ 指向 $C$ 点。

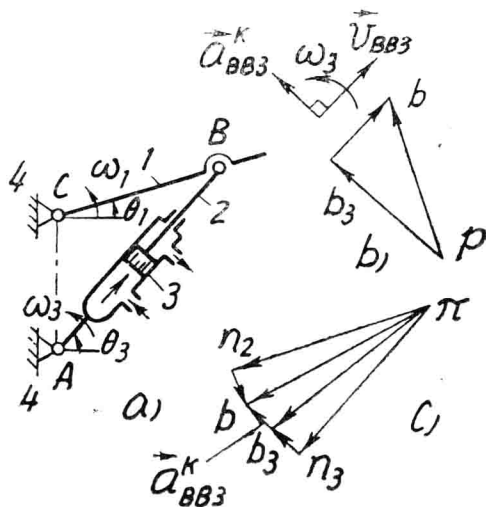
$$2-10 解 1) \vec{v}_B = \vec{v}_{B3} + \vec{v}_{BB3}$$

$$\vec{a}_B = \vec{a}_B^n + \vec{a}_B^t = \vec{a}_{B3}^n + \vec{a}_{B3}^t + \vec{a}_{BB3}^r + \vec{a}_{BB3}^K$$

方向  $\checkmark$   $\checkmark$   $\checkmark$   $\checkmark$   $\checkmark$   
 大小  $\checkmark$  ?  $\checkmark$  ? 0  $2v_{BB3}\omega_3$



题 2—9 图



题 2—10图

2) 由位移方程式  $l_{AB}^2 = l_4^2 + l_1^2 + 2l_4l_1 \sin\theta$  求  $\omega_1$  和  $\varepsilon_1$ :

$$\omega_1 = \frac{l_{AB}v_r}{l_1l_4 \cos\theta_1}, \quad \varepsilon_1 = v_r^2 \left[ \frac{l_1l_4 \cos\theta_1 + l_{AB}^2 \tan\theta_1}{l_1^2l_4^2 \cos^2\theta_1} \right]$$

求液压缸 3 的角速度和角加速度时, 应先假想将摇臂 1 拆离而建立如下位移方程式:

$$(l_{AB} \cos\theta_3 - l_4)^2 + (l_{AB} \sin\theta_3 - l_1)^2 = l_1^2$$

$$l_{AB}^2 + l_4^2 - 2l_{AB}l_4 \sin\theta_3 = l_1^2$$

$$\omega_3 = \frac{(l_{AB} - l_4 \sin\theta_3)}{l_4 l_{AB} \cos\theta_3} v_r$$

$$\varepsilon_3 = \frac{v_r^2 - 2l_4 v_r \omega_3 \cos\theta_3 + l_4 l_{AB} \omega_3^2 \sin\theta_3}{l_4 l_{AB} \cos\theta_3}$$

2—11 解 1) 书上所给各法向加速度的数值有误, 重新计算如下。

$$2) \mu_1 = \frac{5\text{mm}}{\text{mm}}, \quad \mu_v = \frac{0.25\text{m/s}}{\text{mm}}, \quad \mu_a = \frac{15\text{m/s}^2}{\text{mm}}$$

$$3) \vec{v}_c = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB} \quad (\text{图 } b)$$

$$v_B = AB \times \omega_1 = 0.06 \times 100 = 6\text{m/s}$$

$$pe = pc \frac{DE}{DC} = 22 \times \frac{20}{12} = 36.7\text{mm}$$

$$\vec{v}_F = \vec{v}_E + \vec{v}_{FE}$$

$$4) \vec{a}_c = \vec{a}_{CD}^n + \vec{a}_{CD}^t = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t \quad (\text{图 } c)$$

$$a_B = AB \times \omega_1^2 = 0.06 \times 100^2 = 600 \text{ m/s}^2$$

$$a_{CB}^n = \frac{[\mu_v(bc)]^2}{BC} = \frac{[0.25 \times 14.8]^2}{0.18} = 76.1 \text{ m/s}^2$$

$$a_{CD}^n = \frac{[\mu_v(pc)]^2}{CD} = \frac{[0.25 \times 22]^2}{0.12} = 252 \text{ m/s}^2$$

$$\pi e = \pi c \frac{DE}{CD} = 31 \times \frac{20}{12} = 51.7 \text{ mm}$$

$$\vec{a}_F = \vec{a}_E + \vec{a}_{FE}^v + \vec{a}_{FE}^n$$

$$a_{FE}^v = \frac{[\mu_v(ef)]^2}{EF} = \frac{[0.25 \times 4.7]^2}{0.3} = 4.6 \text{ m/s}^2$$

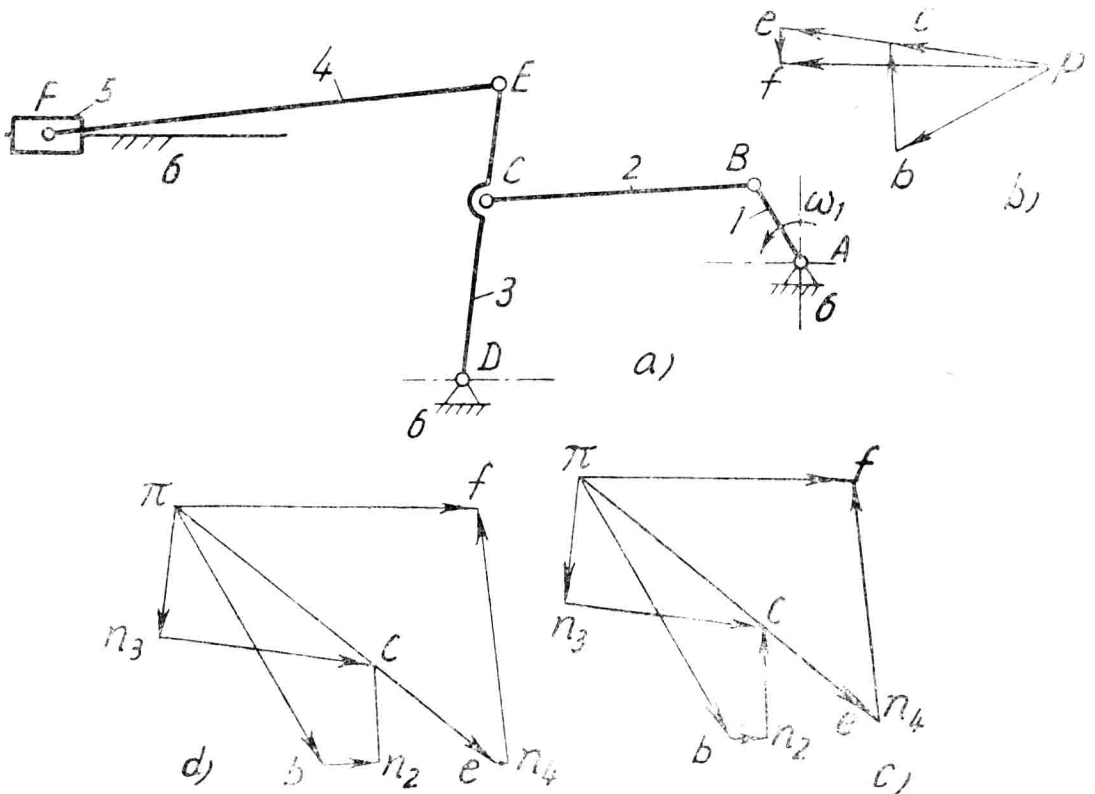
$$\therefore \varepsilon_4 = \frac{\mu_a(n_4 f)}{EF} = \frac{15 \times 33}{0.3} = 1650 \text{ rad/s}^2 (\curvearrowright)$$

$$a_F = \mu_a(\pi f) = 15 \times 36 = 540 \text{ m/s}^2 (\rightarrow)$$

5) 如按书上所给的法线加速度数值作图如题 2—11 图 a 所示

$$\varepsilon_4 = \frac{\mu_a(n_4 f)}{EF} = \frac{15 \times 34.8}{0.3} = 1740 \text{ rad/s}^2 (\curvearrowright)$$

$$a_F = \mu_a(\pi f) = 15 \times 39.8 = 597 \text{ m/s}^2 (\rightarrow)$$



题 2—11 图

2—12 解 原题中“在图示机构中，已知角速度  $\omega_1$ ” 应改为“在图示机构中，曲柄 1 等速转动，已知角速度  $\omega_1$ ”。

1)  $\vec{v}_C = \vec{v}_B + \vec{v}_{CB}$  (参阅图 b)

$$bd = bc \frac{BD}{BC}$$

$$\vec{v}_{D2} = \vec{v}_{D5} + \vec{v}_{D2D5}$$

方向  $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$   
大小 ?    ?    ?

$$pf = pd_5 \frac{EF}{ED}$$

$$v_F = \mu_v(pf) (\nabla)$$

2)  $\vec{a}_C = \vec{a}_B + \vec{a}_{CB}^n + \vec{a}_{CB}^t$  (参阅图 c)

方向  $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$   
大小 ?     $\nabla$      $\nabla$     ?

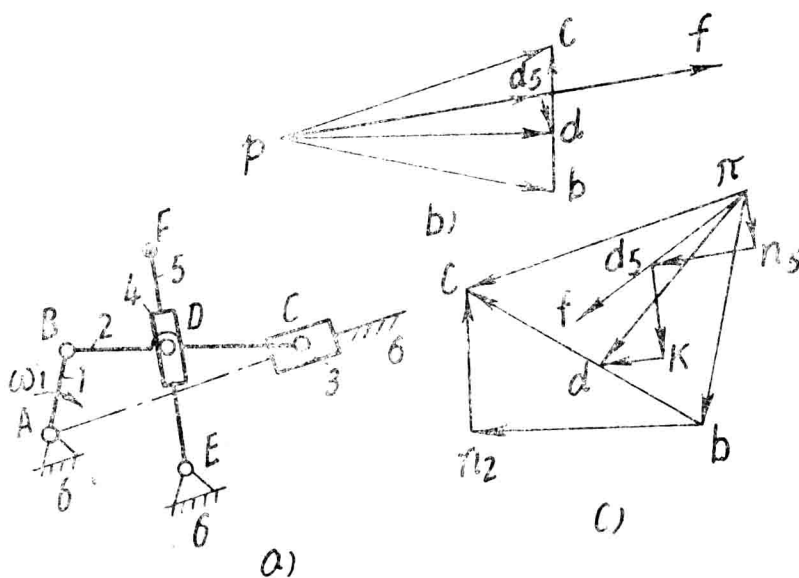
$$td = bc \frac{BD}{BC}$$

$$\vec{a}_D = \vec{a}_{D5}^n + \vec{a}_{D5}^t + \vec{a}_{DD5}^r + \vec{a}_{DD5}^k$$

方向  $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$      $\nabla$   
大小  $\nabla$      $\nabla$     ?    ?     $\nabla$

$$\pi f = \pi d_5 \frac{EF}{ED}$$

$$a_F = \mu_a(\pi f) (\surd)$$



题 2—12图

2-13 解 在闭链6-1-2-3-4-6中, 假想将杆3拆离而建立下一关系式:

$$(x_B - x_D)^2 + (y_B - y_D)^2 = (BD)^2$$

由此可得包含运动变量 $\theta_1$ 、 $\theta_4$ 及 $BD$ 的关系式:

$$\begin{aligned} (BD)^2 &= (h_2 + l_1 \cos \theta_1 - l_4 \cos \theta_4)^2 + (l_1 + l_1 \sin \theta_1 - l_4 \sin \theta_4)^2 \\ &= h_1^2 + h_2^2 + l_1^2 + l_4^2 + 2l_1(h_2 \cos \theta_1 + h_1 \sin \theta_1) \\ &\quad - 2l_1 l_4 \cos(\theta_4 - \theta_1) - 2l_4(h_2 \cos \theta_4 + h_1 \sin \theta_4) \end{aligned}$$

在闭链6-4-3-5-6中, 再假想将杆3拆离可得

$$(x_C - x_D)^2 + (y_C - y_D)^2 = l_3^2$$

由此可得运动变量 $x_C$ 与 $\theta_4$ 之间的关系式:

$$(x_C - l_4 \cos \theta_4)^2 + (h - l_4 \sin \theta_4)^2 = l_3^2$$

$$x_C = \sqrt{l_3^2 - (h - l_4 \sin \theta_4)^2} + l_4 \cos \theta_4$$

在闭链6-1-2-3-5-6中, 仍假想将杆3拆离可得

$$(x_C - x_B)^2 + (y_C - y_B)^2 = (l_3 - BD)^2$$

由此可得 $x_C$ 、 $\theta_1$ 与 $BD$ 之间的一个关系式:

$$(x_C - h_2 - l_1 \cos \theta_1)^2 + (h - h_1 - l_1 \sin \theta_1)^2 = (l_3 - BD)^2$$

$$(x_C - h_2)^2 + l_1^2 + (h - h_1)^2 - 2(x_C - h_2)l_1 \cos \theta_1$$

$$- 2l_1(h - h_1) \sin \theta_1 - (l_3 - BD)^2 = 0$$

### 第三章 平面机构的力分析习题解答

3-1 解 1) 连杆的总惯性力及其作用线为:

$$F_{I2} = a_{S2} \cdot m_2 = 80 \times 20 = 1600 \text{ N}$$

$$e_2 = \frac{J_{S2} \varepsilon_2}{F_{I2}} = \frac{0.071 \times 924}{1600} = 0.0427 \text{ m}$$

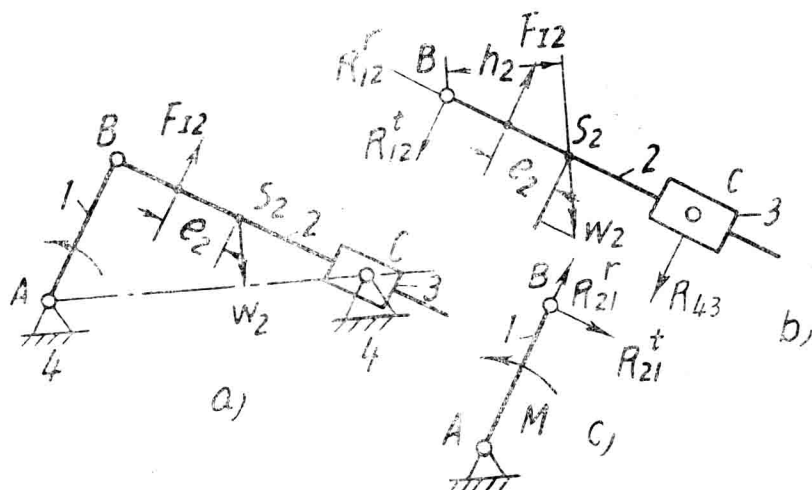
2) 各运动副中的反力及应加在原动件 1 上的平衡力矩  $M_1$  为:

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0, \quad R_{32} = R_{43} &= \frac{F_{I2}(BS_2 - e_2) - W_2 h_2}{BC} \\ &= \frac{1600(0.086 - 0.0427) - 20 \times 9.8 \times 0.086 \cos 30^\circ}{0.1732} \\ &= 316 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum M_C = 0, \quad R_{12}^t &= \frac{F_{I2}(BC - BS_2 + e_2) - W_2(BC - BS_2) \cos 30^\circ}{BC} \\ &= \frac{1600(0.1732 - 0.086 + 0.0427) - 20 \times 9.8(0.1732 - 0.086) \cos 30^\circ}{0.1732} \\ &= 1115 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum F_{n0} = 0, \quad R_{12}^n = W_2 \sin 30^\circ = 20 \times 9.8 \sin 30^\circ = 98 \text{ N}$$

$$\therefore R_{12} = \sqrt{(R_{12}^t)^2 + (R_{12}^n)^2} = \sqrt{(1115)^2 + (98)^2} = 1119 \text{ N} = R_{41}$$



题 3-1 图



$$\sum M_A = 0, \quad M_1 = R_{21}^t \times AB = 98 \times 0.1 = 9.8 N \cdot m (\curvearrowright)$$

3—2 解 1) 构件的总惯性力及其作用线为:

$$F_{I1} = 0, \quad M_{I1} = 0$$

$$F_{I2} = \frac{W_2}{g} a_{S2} = \frac{35.6}{9.8} \times 5550 = 20200 N$$

$$M_{I2} = J_{S2} \cdot \varepsilon_2 = 0.02 \times 46000 = 920 N \cdot m (\curvearrowright)$$

$$e_2 = \frac{M_{I2}}{F_{I2}} = \frac{920}{20200} = 0.0455 m$$

$$F_{I3} = \frac{W_3}{g} a_c = \frac{89}{9.8} \times 7050 = 64000 N$$

$$M_{I3} = J_{S3} \cdot \varepsilon_3 = 0.014 \times 39000 = 546 N \cdot m (\curvearrowright)$$

$$e_3 = \frac{M_{I3}}{F_{I3}} = \frac{546}{64000} = 0.0085 m$$

2) 构件 2 (图 d):

$$\begin{aligned} \sum M_B = 0, \quad R_{32}^{t2} &= \frac{W_2 h_2 + F_{I2} h_{I2}}{BC} = \frac{35.6 \times 0.0655 + 20200 \times 0.0485}{0.178} \\ &= 5520 N \end{aligned}$$

3) 构件 3 (图 d):

$$\begin{aligned} \sum M_O = 0, \quad R_{23}^{t3} &= \frac{W_3 h_3 + F_{I3} h_{I3}}{OC} = \frac{89 \times 0.014 + 64000 \times 0.185}{0.178} \\ &= 66500 N \quad (h_3 \text{ 与 } h_{I3} \text{ 分别为 } W_3 \text{ 与 } F_{I3} \text{ 到 } O \text{ 点的力臂}) \end{aligned}$$

$$4) \vec{R}_{32} = \vec{R}_{32}^{t2} + \vec{R}_{32}^{r2} = \vec{R}_{32}^{t3} + \vec{R}_{32}^{r3}$$

取  $\mu_F = 2000 \frac{N}{mm}$ , 作力多边形如图 e 所示。得

$$R_{32} = \mu_F(ad) = 2000 \times 43 = 86 \times 10^3 N$$

5) 构件 3:

$$\vec{R}_{23} + \vec{W}_3 + \vec{F}_{I3} + \vec{R}_{43} = 0$$

作力多边形如图 f 所示, 得

$$R_{43} = \mu_F(ca) = 2000 \times 31 = 62 \times 10^3 N$$

6) 构件 2:

$$\vec{R}_{32} + \vec{W}_2 + \vec{F}_{I2} + \vec{R}_{12} = 0$$

如图 f) 所示, 得

$$R_{12} = \mu_F(db) = 2000 \times 53 = 106 \times 10^3 N$$

7) 构件 1:

$$\vec{R}_{21} + \vec{W}_1 + \vec{R}_{41} = 0$$