

机械原理课程设计指导书

四冲程内燃机设计

一. 已知条件：在图示的四冲程内燃机中

活塞行程 $H =$ (mm)

活塞直径 $D =$ (mm)

活塞移动导路相对于曲柄中心的距离 $e =$ (mm)

行程速比系数 $K =$

连杆重心 c_2 至 A 点的距离 $l_{AC_2} =$ 系数 l_{AB} (mm)

曲柄重量 $Q_1 =$ (N)

连杆重量 $Q_2 =$ (N)

活塞重量 $Q_3 =$ (N)

连杆通过质心轴 c_2 的转动惯性半径 ρ_c $\rho_c^2 =$ 系数 l_{AB}^2 (m m²)

曲柄的转速 $n_1 =$ (rpm)

发动机的许用速度不均匀系数 $[\delta] =$

曲柄不平衡的重心到 O 点的距离 $l_{OC} = l_{OA}$ (mm)

开放提前角：

进气门： -10° ；排气门： -32°

齿轮参数：

$m = 3.5$ (mm)； $\alpha = 20^\circ$ ； $h_a^* = 1$

$Z_2 = Z_2' = 14$ ； $Z_3 = Z_3' = 72$ ； $Z_1 = 36$

示功图见 P10 图 2 所示。

二. 设计任务

1. 机构设计

按照行程速比系数 K 及已知尺寸决定机构的主要尺寸 ,并绘出机构运动简图 (4 号图纸)。(凸轮要计算出装角后才画在该图上)

2. 选定长度比例尺作出连杆机构的位置图

以活塞在最高位置时为起点 ,将曲柄回转一周按顺时针方向分为十二等

分，然后找出活塞在最低位置时和活塞速度为最大时的曲柄位置（即曲柄旋转一周共分十五个位置）并作出机构各位置时的机构位置图，求出滑快的相对位移。

3. 作出机构 15 个位置的速度多边形

求出这 15 个位置的 V_{BA} 、 V_{C_2} 、 V_B 、 ω_2 的数值，并列表表示。（表一）

4. 作出机构的 15 个位置的加速度多边形

求出 15 个位置的 a_{BA}^n 、 a_{BA}^t 、 a_{BA} 、 α_2 、 a_{C_2} 、 a_B 的数值，并列表表示。（表二）

5. 用直角坐标作滑块 B 点的位移曲线 $S_B = S_B(\phi)$ ，速度曲线 $V_B = V_B(\phi)$ 及加速度曲线 $a_B = a_B(\phi)$ 。（把以上 2 3 4 5 作在一张 2 号图纸上）

6. 动态静力分析（1 号图纸）

求出机构在各位置时各运动副的反力及应加于曲柄 OA 的平衡力矩 M_b （每人完成五个位置）各种数据均要列表表示：

（1）将各个位置的 P_{12} 、 M_{12} 、 P_{13} 等数值列于表三。

（2）列出各个位置的 R_{12}^t 的计算公式，并计算出其数值。

（3）将各个位置的 p' 、 R_{12}^n 、 R_{12}^t 、 R_{12} 、 R_{03} 、 R_{23} 等数值列于表四。

（4）将各个位置的 R_{01} 、 M_b 等数值列于表五

7. 用直角坐标作出 $M_b = M_b(\phi)$ 曲线。（用方格纸绘制）

（ M_b 统一用“动态静力分析”所求得的值）

8. 计算当不考虑机构各构件的质量和转动惯量时的飞轮转动惯量 J_F 。

9. 计算发动机功率。

10. 对曲柄滑块机构进行机构部分平衡（平衡 A 点的质量）。

11. 用图解法设计凸轮和的实际轮廓曲线（4 号图纸 2 张）

12. 绘制内燃机的工作循环图（4 号图纸）。

根据工作循环图及曲柄的位置，求出凸轮的安装角，把凸轮画在机构运动简图上。

13. 最后将设计过程写成 20页左右的详细说明书（要求手写）。

三．设计步骤及注意问题

1 求连杆及曲柄的长度

设连杆的长度为 l 曲柄长度为 r

$$\therefore OB_I = l - r$$

$$OB_C = l + r$$

$$Q\theta = 180^\circ \frac{K-1}{K+1}$$

$\therefore \theta$ 可求

$$R = CB_I = \frac{H}{2 \sin \theta}$$

$$\begin{aligned} OE &= \sqrt{(OC)^2 - (CE)^2} \\ &= \sqrt{(OC)^2 - (CD - DE)^2} \\ &= \sqrt{R^2 - (CD - e)^2} \end{aligned}$$

$$l + r = \sqrt{(OF)^2 + e^2} \text{ ----- (1)}$$

$$OF = OE + \frac{H}{2}$$

$$\alpha = \sin^{-1} \frac{OE}{OC}$$

$$\delta = \alpha - \theta$$

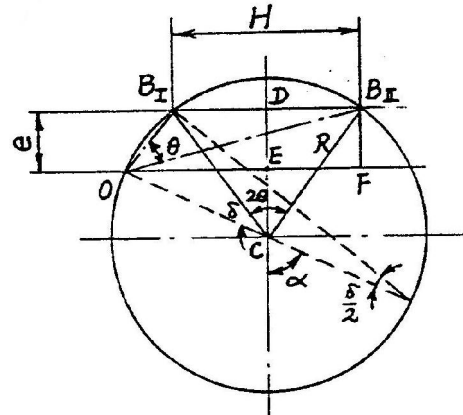
$$l - r = 2R \sin \frac{\delta}{2} \text{ ----- (2)}$$

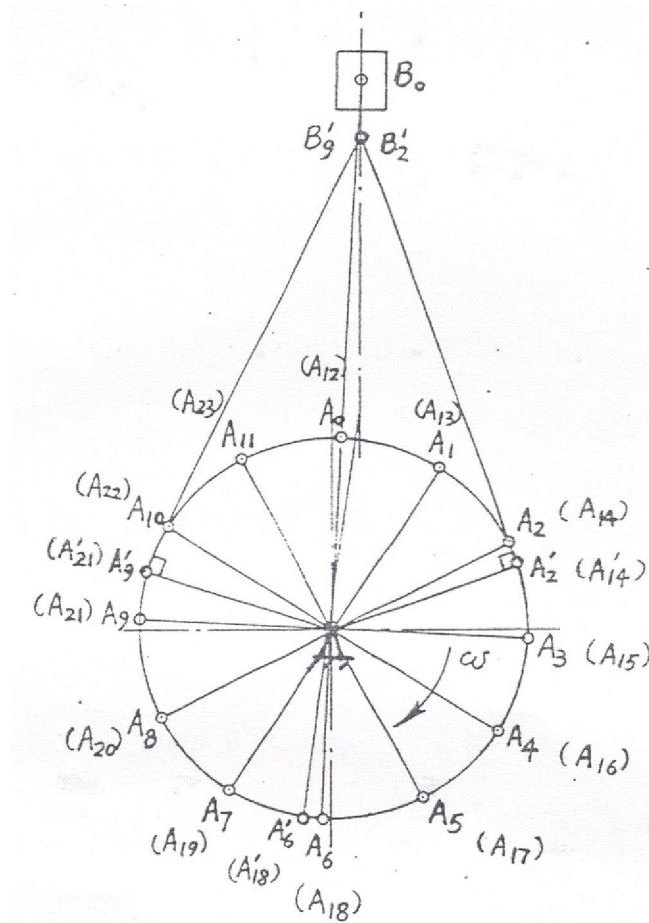
联立 (1) (2) 式求解，可求出连杆的长度 l 及曲柄的长度 r 。

2. 曲柄回转一周共分为 15 个位置

当活塞在最高位置时为起点，曲柄 A 点的编号为 A_0 ，由 A_0 点开始，顺时针方向把圆等分为 12 等分，得 A_0 、 A_1 、 A_2 、.....、 A_{11} 等点。当滑块在最低位置时，曲柄上 A 点的编号为 A'_6 。

可近似认为，当曲柄在 OA'_2 和 OA'_9 位置时，滑块 B 的速度为最大值。





注：括号内的编号在分析力时才使用。

3. 动态静力分析步骤

(1) 计算活塞上的气体压力

$$p' = p_i \cdot F \quad (\text{N})$$

F —活塞的面积 (cm^2)

(2) 求作用于构件上的惯性力

$$p_{I_2} = -m_2 \cdot a_{c_2} \quad (\text{N})$$

$$J_{C_2} = m_2 \cdot \rho_C^2$$

$$P_I = -m_3 \cdot a_B \quad (\text{N})$$

(3) 出活塞上受力的大小及方向

$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_{I_3} + \vec{Q}_3$$

(4) 把作用在构件 2 上的反力 R_{12} 分解为 R_{12}^n 和 R_{12}^t 取 $\sum M_B = 0$, 求

$$\text{出 } R_{12}^t$$

(5) 以构件 2、3 为示力体，取 $\sum \vec{F} = 0$ ，求出 R_{12}^n 和 R_{03}

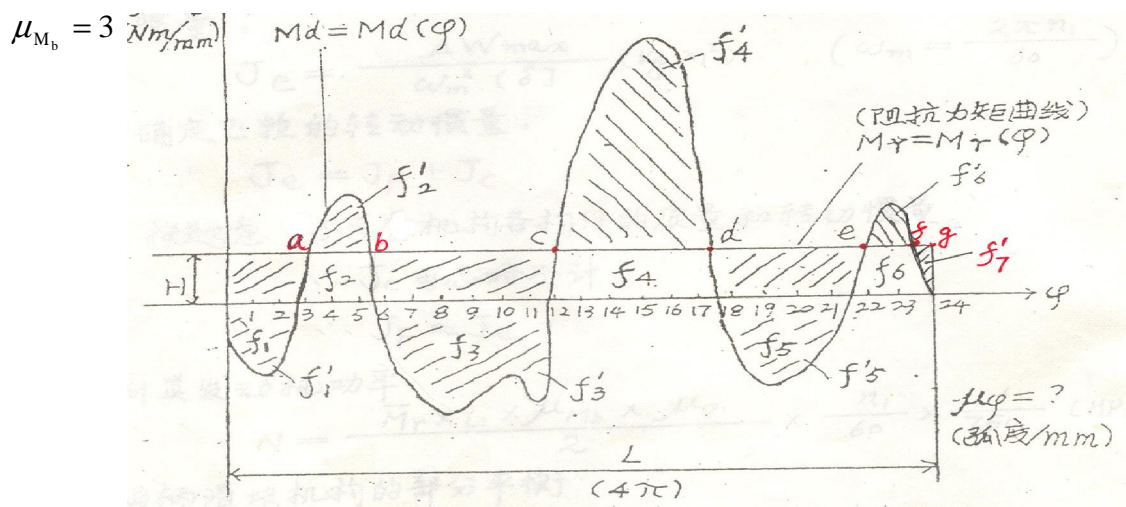
(6) 以构件 1 为示力体，(构件 1 的重力忽略不计)，取 $\sum \vec{F} = 0$ ，求出 R_{01} ，再由 $\sum M_0 = 0$ ，求出 M_b 。

(7) 用一张 4 号图纸大小的方格纸作出 $M_b = M_b(\phi)$ 曲线。

4. 飞轮转动惯量的确定

(2) 在本课程设计中，决定飞轮的转动惯量时，不考虑机构各构件的质量和转动惯量。

(3) 把 $M_b = M_b(\phi)$ 曲线作为 $M_d = M_d(\phi)$ 曲线 (驱动力矩曲线)



规定：当 M_b 与 ω_1 的方向一致时为负，画在横坐标的下方。

当 M_b 与 ω_1 的方向相反时为正，画在横坐标的上方。

(在本课程设计中， ω_1 的方向为顺时针)

(4) 以 M_b 的平均值作为阻力矩 M_r (常数)。这是因为在周期性的速度波动中，一个波动周期内的输入功等于输出功。即 $\omega_d - \omega_r = \Delta E = 0$

(a) 首先求出下列各单元的面积：

f_1 、 f_2 、 f_3 、 f_4 、 f_5 、 f_6

(b) 求出阻抗力矩 ($M_r = M_r(\phi)$) 的纵坐标 H:

$$H = \frac{f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5 + f_6}{L} (\text{mm})$$

注意:) f_1, f_2, \dots, f_6 表示各单元的面积, 单位为 mm^2 ,

在横坐标之下为负值, 在横坐标之上为正值。

) H 的单位为毫米, 当乘上比例尺 μ_{M_b} 之后, 才得

出 M_r 之值。

(c) 根据求出的 H 值, 作出 $M_r = M_r(\phi)$ 阻抗力矩曲线(现为水平线)

(5) 求出下列各单元的面积:

$$f'_1, f'_2, f'_3, f'_4, f'_5, f'_6, f'_7$$

在阻抗力矩曲线之上的面积表示盈功, 在阻抗力矩曲线之下面积表示亏功。盈功为正, 亏功为负值。

(6) 根据上面各单元的面积求相应的功

$$W_1 = f'_1 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_4 = f'_4 \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_7 = f'_7 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi}$$

$$W_2 = f'_2 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_5 = f'_5 \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi}$$

$$W_3 = f'_3 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_6 = f'_6 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi}$$

(7) 求出在各个位置上功的累积变化量 ΔW

$$\Delta W_a = \dots (\text{Nm}) \quad \Delta W_d = \dots (\text{Nm})$$

$$\Delta W_b = \dots (\text{Nm}) \quad \Delta W_e = \dots (\text{Nm})$$

$$\Delta W_c = \dots (\text{Nm}) \quad \Delta W_f = \dots (\text{Nm})$$

$$\Delta W_g = \dots (\text{Nm})$$

根据上面各值找出

$$W_{\max} = \dots (\text{Nm}) \quad W_{\min} = \dots (\text{Nm})$$

(8) 求出最大盈亏功 ΔW_{\max}

$$\Delta W_{\max} = W_{\max} - W_{\min} = \dots (\text{Nm})$$

(8) 根据许用不均匀系数 $[\delta]$ ，求出等效构件上所需的等效转动惯量：

$$J_e = \frac{\Delta W_{\max}}{\omega_m^2 [\delta]} (\text{kg} \cdot \text{m}^2) \quad \left(\omega_m = \frac{2\pi n_1}{60} \right)$$

(9) 确定飞轮的转动惯量：

$$J_e = J_F + J_c$$

按题意：不考虑各构件的质量和转动惯量。

$\therefore J_c$ 可忽略不计

$$\therefore J_F \approx J_e$$

5. 计算发动机功率

$$N = \frac{\dot{M}_r \times L \times \mu_{M_b} \times \mu_\phi}{2} \times \frac{n_1}{60} \times \frac{1}{750} (\text{HP})$$

6. 曲柄滑块机构的平衡

(1) 把连杆的质量代换到 A、B 点

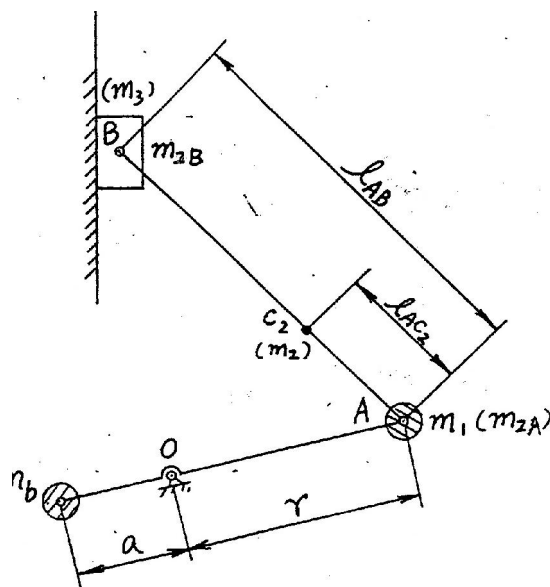
$$\begin{cases} m_2 = m_{2A} + m_{2B} \\ m_{2A} \cdot l_{AC_2} = m_{2B} (l_{AB} - l_{AC_2}) \end{cases}$$

由上面的方程组可求得：

$$m_{2B} = -m_2 \frac{l_{AC_2}}{l_{AB}}$$

$$m_{2A} = m_2 \frac{l_{AB} - l_{AC_2}}{l_{AB}}$$

$$\therefore \begin{cases} m'_B = m_3 + m_{2B} \\ m'_A = m_1 + m_{2A} \end{cases}$$



(2) 把曲柄 A 点的质量用距 O 点为 $a=0.5r$ 的平衡质量 m_b 平衡。

$$m_b \cdot a = m'_A \cdot r$$

$$m_b \cdot 0.5r = m'_A \cdot r$$

$$\therefore m_b = 2 \cdot m'_A$$

7. 凸轮（凸轮 和 ）的轮廓设计。

(1) 升程角为 60° ，回程角为 60° ，远停程角为 10° 。

(2) 选择升程和回程的运动规律。

(3) 用图解法设计凸轮的轮廓曲线。

需画出 $s-\delta$ 曲线以及凸轮的轮廓曲线。

8. 以曲柄作为定标构件，曲柄每转两周为一工作循环。画出各执行机构在位置上协调配合工作的循环图。

附：

分组	位置					负责人
A	0	7	12	18	14'	
B	1	8	13	19	6'	
C	2	9	14	20	6	
D	3	9'	15	21	2'	
E	4	10	16	22	18'	
F	5	11	17	23	21'	

	H (mm)	D (mm)	e (mm)	K	l_{AC_2} (mm)	Q_1 (N)	Q_2 (N)	Q_3 (N)	ρ_c^2 (mm ²)	n1 (rpm)	[]
方案	225	170	50	1.04	0.35x1AB	160	120	190	0.16x1AB ²	620	1/100
方案	270	220	60	1.05	0.36x1AB	170	135	210	0.165x1AB ²	610	1/100
方案	320	230	70	1.06	0.38x1AB	190	140	230	0.17x1AB ²	590	1/80
方案	185	150	55	1.07	0.4x1AB	120	110	180	0.18x1AB ²	630	1/100
方案	220	160	65	1.08	0.35x1AB	135	125	200	0.15x1AB ²	640	1/90
方案	200	180	40	1.035	0.38x1AB	140	115	190	0.17x1AB ²	650	1/100
方案	215	170	45	1.04	0.35x1AB	150	120	200	0.16x1AB ²	600	1/90
方案	210	160	65	1.08	0.35x1AB	140	120	190	0.15x1AB ²	580	1/100

	凸轮				凸轮			
	h_1	e_1	$r_{0\min}$	ω	h_2	e_2	$r_{0\min}$	ω
方案	8	5	55		10	0	60	
方案	10	0	60		8	5	55	
方案	9	3	55		9	6	55	
方案	6	0	60		7	0	60	

	凸轮				凸轮			
	h_1	e_1	$r_{0(\min)}$	W	h_2	e_2	$r_{0(\min)}$	W
方案	7	0	55		6	0	60	
方案	8	4	60		8	5	60	
方案	10	0	55		10	7	60	
方案	6	0	55		10	3	55	

单位：mm

位置	0	1	2	2'	3	4	5	6	6'	7	8	9	9'	10	11
p_i	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.5	5	8	15	43.5
方向															
	← 吸气 →								← 压缩 →						
位置	12	13	14	14'	15	16	17	18	18'	19	20	21	21'	22	23
p_i	140	140	72.5	50.5	32.5	15	7.5	2.5	2.5	1	1	1	1	1	1
方向															
	← 膨胀 →								← 排气 →						

示功图

$$\mu p_i = 2 \left(\frac{N/cm^2}{m} \right)$$

