

机械原理课程设计

四冲程内燃机

时间：二周

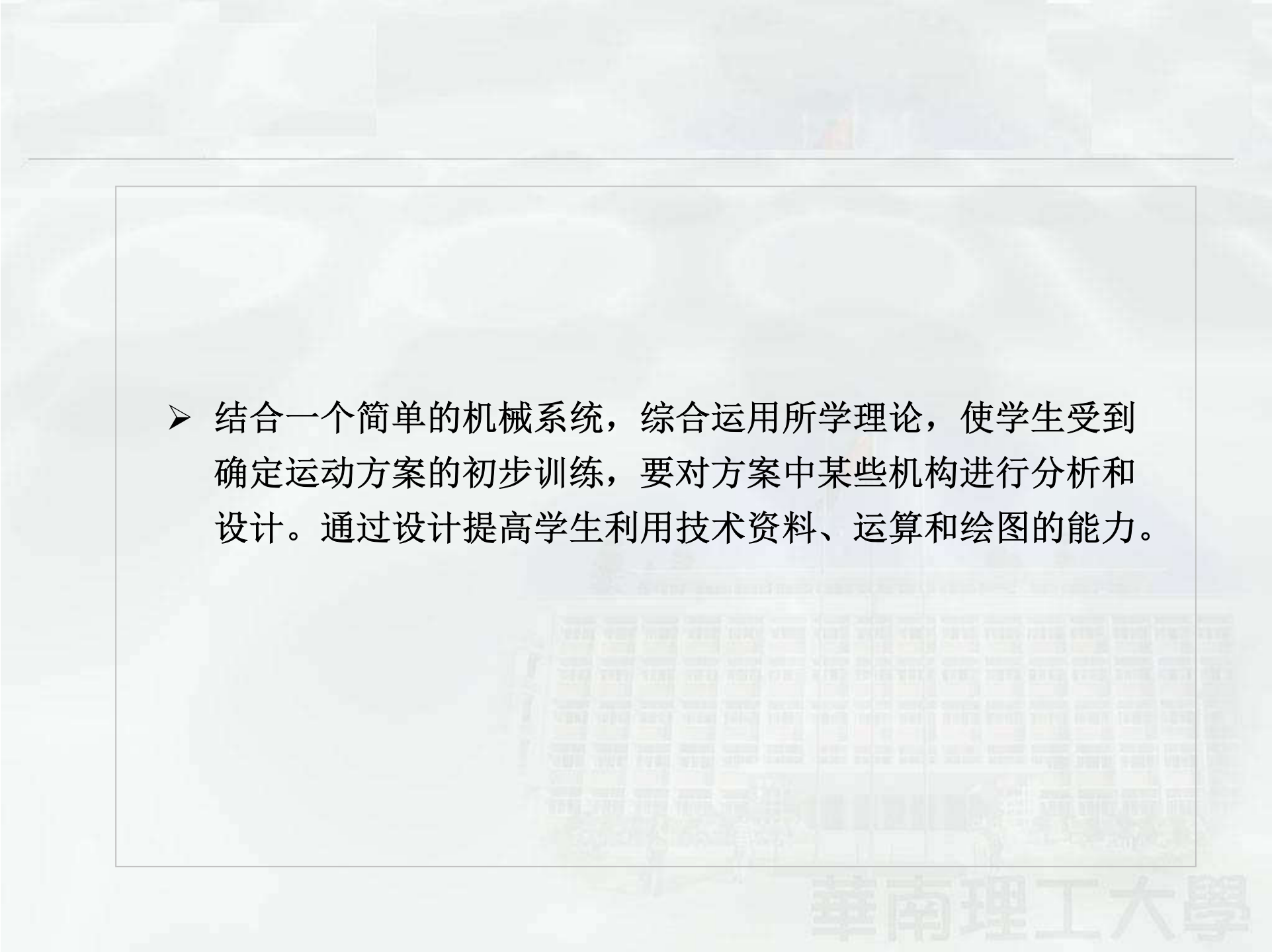
華南理工大學

主要内容

- 一、目的
- 二、要求
- 三、参考资料
- 四、课程设计的内容
- 五、课程设计的步骤
- 六、课程设计的进度表

一、目的

華南理工大學

- 
- 结合一个简单的机械系统，综合运用所学理论，使学生受到确定运动方案的初步训练，要对方案中某些机构进行分析和设计。通过设计提高学生利用技术资料、运算和绘图的能力。

(1) 使所学过的分散的知识点成为一个比较完整的体系。

包含了机构运动简图、运动分析、动态静力分析、齿轮、连杆、凸轮等机构及动平衡、速度波动的调节、运动循环图等内容。

(2) 加强能力培养

- 自学能力：用解析法进行机构的运动分析、凸轮轮廓线设计...

- 
- 通过课程设计，还可以培养整理数据的能力、绘图能力、以及运用计算机的能力...

由此可见，机械原理课程设计是机械类学生的一个重要的实践性教学环节。

二、要求

(1) 要有良好的学风及严格的纪律

- 在规定的时间内，一律要在教室内搞设计，以便教师进行指导。
上午：8:00-11:30； 下午：2:30-5:30
- 每个教室，在黑板的右下角，按座位写上名字，以便教师点名。
无故缺席、三次点名不到者，向学院递交取消该生课程设计成绩的申请报告
- 课程设计成绩的评定，与遵守纪律情况、图面质量、说明书质量、运动方案是否合理、答辩等因素有关。

(2) 每位同学都要独立完成自己的设计任务，特别是编程、打印部分的内容。

(3) 图面质量的要求

- 图幅、线型、边框、及标题栏等均要符合国标。
- 不能徒手画图：曲线要用曲线板、小圆要用模板、包括角速度、角加速度的方向也不能徒手画出。图纸不要写有关的计算公式、计算结果。

(4) 说明书要求

- 说明书不得涂改
- 说明书要有封面、目录、参考资料

- (5) 所有图纸所有图纸要叠好（按4号图纸的大小），连同说明书一起装在档案袋内。
- (6) 按规定时间来答辩。
- (7) 齿轮传动要按照无根切条件考虑。（采用变位齿轮）

(8) 分组

在进行动态静力分析时，按“指导书”P9，6个人完成一个方案，每个人完成五个位置的力分析（按表中规定的位置），共完成30个位置的力分析，这样就有30个数据来画出 $M - \varphi$ 曲线。

- 因此，要求每位同学都要按进度完成设计任务，要有整体观念。
- 每个方案组要有一个组长，组长要负起整个方案组的各项工作，包括：分工、纪律、进度...等。
- 每个班由班长、学习委员负责分组，并交一份分组名单。
- 每个班分组时，剩下的人不足6个人时，把剩余的人分到各方案组去。

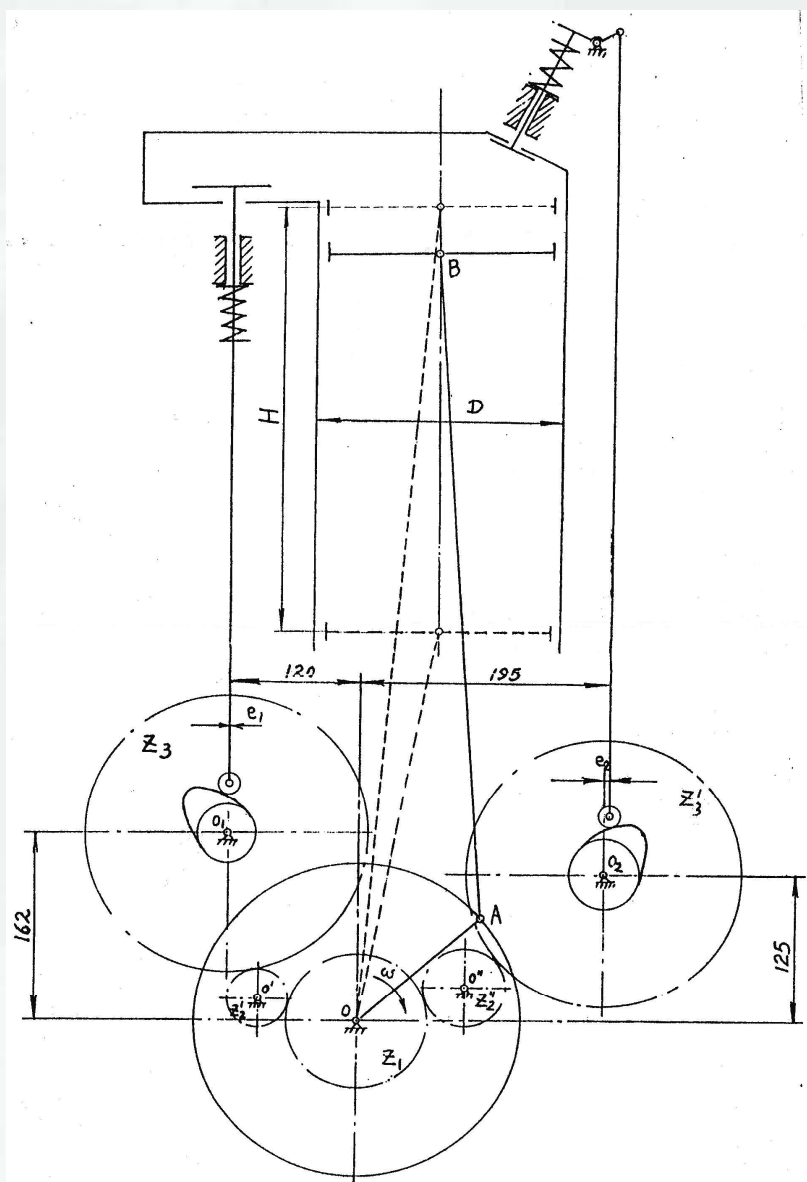
三、参考资料

華南理工大學

- 各种机械原理教材。
- “机械原理课程设计指导书” 杨忠秀主编 机械工业出版社 2003年
- 机构运动方案及机构设计—机械原理课程设计题例及指导 姜琪主编 高教出版社 1991年4月
- 机械原理电算程序设计 杨兰生等编著 中国展望出版社 1986年3月
- 机械原理电算程序集 高教出版社
- 机械原理计算机辅助设计 华南理工大学出版社 1989年3月
- 机械原理课程设计 周明傅等编 上海科技出版社 1987年

四、课程设计的内容

華南理工大學



已知条件：

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)

连杆通过质心轴的转动惯性半径

曲柄的转速 $n_1 =$ $\rho_c^2 = \frac{\text{系数} l_{AB}^2}{(\text{rpm})} (\text{mm}^2)$

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)； $\alpha = 20^\circ$ ； $ha^* = 1$

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

| | H (mm) | D (mm) | e (mm) | K | l_{AC_2} (mm) | Q1 (N) | Q2 (N) | Q3 (N) | ρ_c^2 (mm ²) | n1 (rpm) | [δ] |
|---------|-----------|-----------|-----------|-------|--------------------|-----------|-----------|-----------|----------------------------------|-------------|--------------|
| 方案 I | 225 | 170 | 50 | 1.04 | 0.35x AB | 160 | 120 | 190 | 0.16x AB ² | 620 | 1/100 |
| 方案 II | 270 | 220 | 60 | 1.05 | 0.36x AB | 170 | 135 | 210 | 0.165x AB ² | 610 | 1/100 |
| 方案 III | 320 | 230 | 70 | 1.06 | 0.38x AB | 190 | 140 | 230 | 0.17x AB ² | 590 | 1/80 |
| 方案 IV | 185 | 150 | 55 | 1.07 | 0.4x AB | 120 | 110 | 180 | 0.18x AB ² | 630 | 1/100 |
| 方案 V | 220 | 160 | 68 | 1.08 | 0.35x AB | 135 | 125 | 200 | 0.15x AB ² | 640 | 1/90 |
| 方案 VI | 200 | 180 | 40 | 1.035 | 0.38x AB | 140 | 115 | 190 | 0.17x AB ² | 650 | 1/100 |
| 方案 VII | 215 | 170 | 45 | 1.04 | 0.35x AB | 150 | 120 | 200 | 0.16x AB ² | 600 | 1/90 |
| 方案 VIII | 210 | 160 | 65 | 1.08 | 0.35x AB | 140 | 120 | 190 | 0.15x AB ² | 580 | 1/100 |

| | 凸轮 I | | | | 凸轮 II | | | |
|--------|-------|-------|-------------|----------|-------|-------|-------------|----------|
| | h_1 | e_1 | $r_{0\min}$ | ω | h_2 | e_2 | $r_{0\min}$ | ω |
| 方案 I | 8 | 5 | 55 | | 10 | 0 | 60 | |
| 方案 II | 10 | 0 | 60 | | 8 | 5 | 55 | |
| 方案 III | 9 | 3 | 55 | | 9 | 6 | 55 | |
| 方案 IV | 6 | 0 | 60 | | 7 | 0 | 60 | |

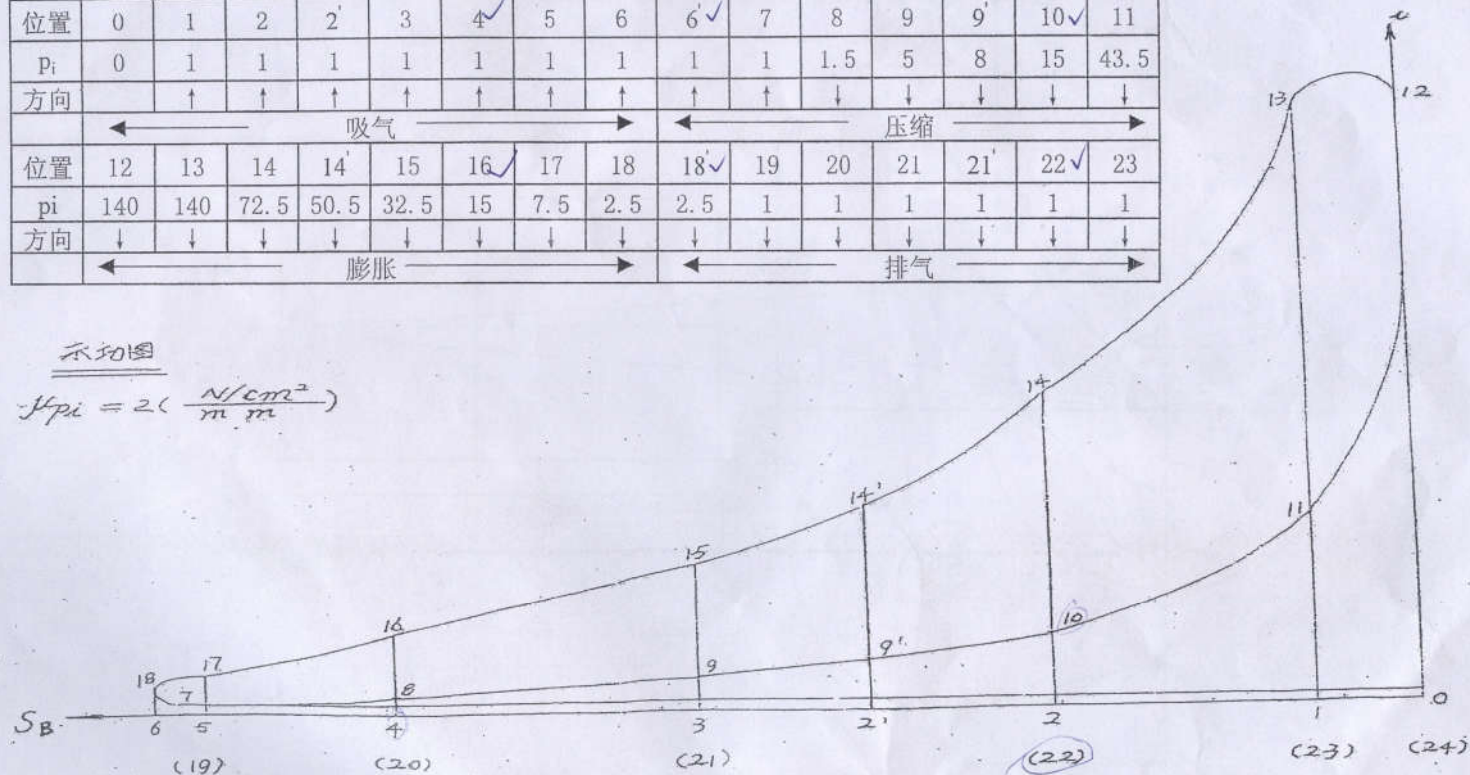
| | 凸轮 I | | | | 凸轮 II | | | |
|---------|-------|-------|-------------|----------|-------|-------|-------------|----------|
| | h_1 | e_1 | $r_0(\min)$ | ω | h_2 | e_2 | $r_0(\min)$ | ω |
| 方案 V | 7 | 0 | 55 | | 6 | 0 | 60 | |
| 方案 VI | 8 | 4 | 60 | | 8 | 5 | 60 | |
| 方案 VII | 10 | 0 | 55 | | 10 | 7 | 60 | |
| 方案 VIII | 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

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



五、课程设计的步骤

華南理工大學

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）。（凸轮要计算出安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_{C2} , V_B , ω_2 的数值，并列表表示。（表一）

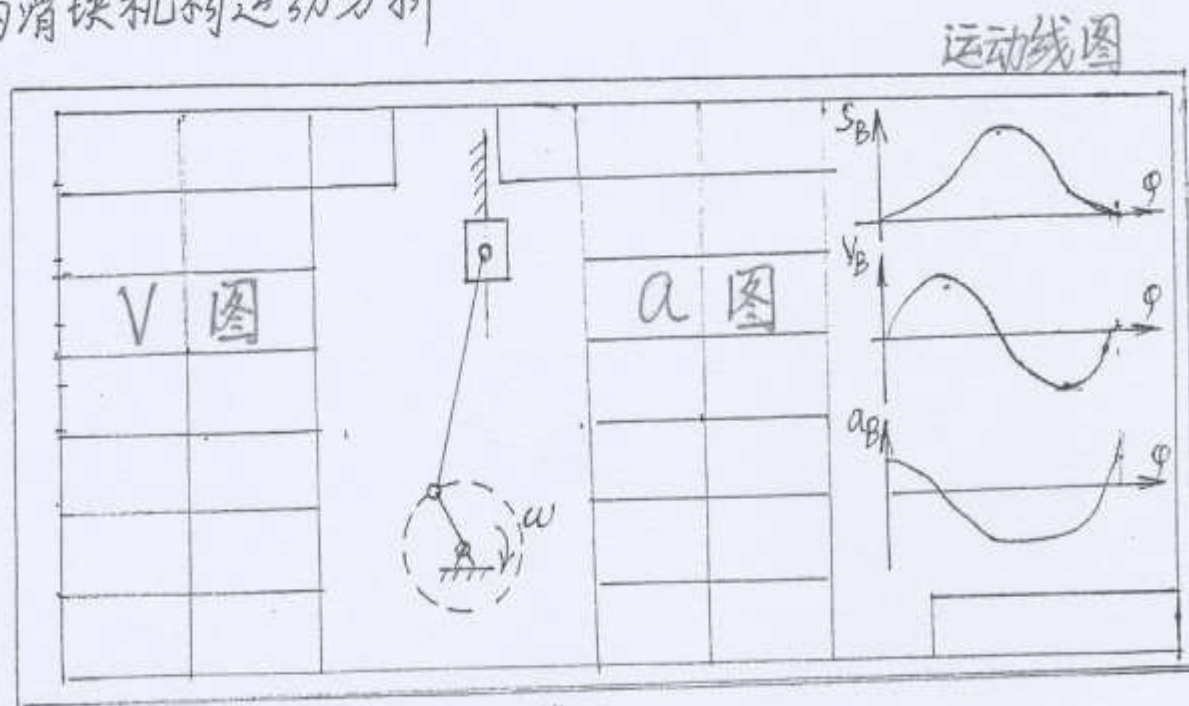
4. 作出机构的15个位置的加速度多边形

求出15个位置的 a_{BA}^n , a_{BA}^t , a_{BA} , α_2 , a_{C2} , a_B 的数值，并列表表示。（表二）

5. 用直角坐标作滑快B点的位移曲线 $S_B = S_B(\varphi)$ ，速度曲线 $V_B = V_B(\varphi)$ 及加速度曲线

$a_B = a_B(\varphi)$ 。（把以上2、3、4、5作在一张2号图纸上）

1. 曲柄滑块机构运动分析



机构运动简图

- 一个位置画粗实线 (其余 14 个位置画细实线)。
- 三条曲线画粗实线。

6. 动态静力分析

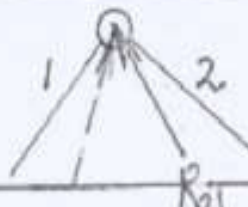
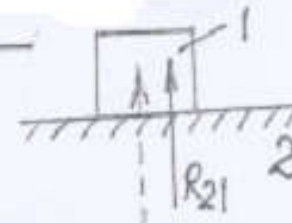

6.1 概念:动态静力分析—根据理论力学中所讲的达朗伯原理, 将惯性力视为一般外力加在构件上, 仍可采用静力学方法对其进行受力分析。这样的力分析称为动态静力分析。

➤ 惯性力 $P_I = -m\vec{a}_s$ m – 构件的质量
 a_s – 构件质心s的加速度

➤ 惯性力偶矩 $M_I = -J_s\alpha$
 J_s – 构件对于其质心轴的转动惯量
 α – 构件的角加速度

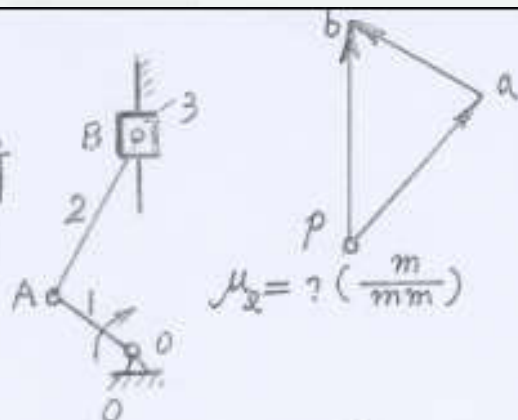
上两式中的负号表示 P_I 和 M_I 的方向分别与 a_s 和 α 相反

6.2 各平面运动副中副反力的未知要素（当不考虑摩擦时）

| | | | |
|-----|---|---|---|
| |  |  |  |
| 大小 | ? | ? | ? |
| 方向 | ? | ⊥ 移动副接触面 | 沿法线 n-n |
| 作用点 | 转动副中心 | ? | 通过接触点 C |

6.3 动态静力分析方法

3. 动态静力分析 (步骤按指导书)



$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_{I2} + \vec{Q}_2$$

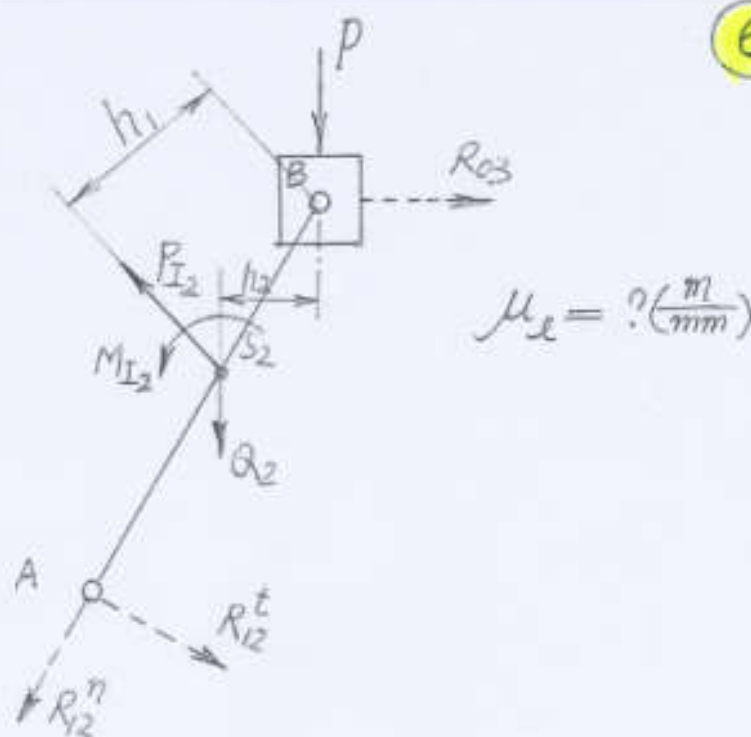
- $R_{12}^t, R_{12}^n, R_{03}$ 的方向先假设;
 R_{12}^t 算出为正值, 则假设方向正确;
 R_{12}^n 与 R_{03} 按力封闭多边形的方向。

- 取 $\sum M_B = 0$ (设 \curvearrowright 为正)

$$R_{12}^t \cdot l_{AB} + Q_2 \cdot h_2 \cdot \mu_x - P_{I2} \cdot h_1 \cdot \mu_x - M_{I2} = 0$$

$$\therefore R_{12}^t = \frac{M_{I2} + P_{I2} \cdot h_1 \cdot \mu_x - Q_2 \cdot h_2 \cdot \mu_x}{l_{AB}}$$

$\left\{ \begin{array}{l} "+" \rightarrow R_{12}^t \text{ 的方向正确;} \\ "-" \rightarrow R_{12}^t \text{ 在图上应反向;} \end{array} \right.$



6

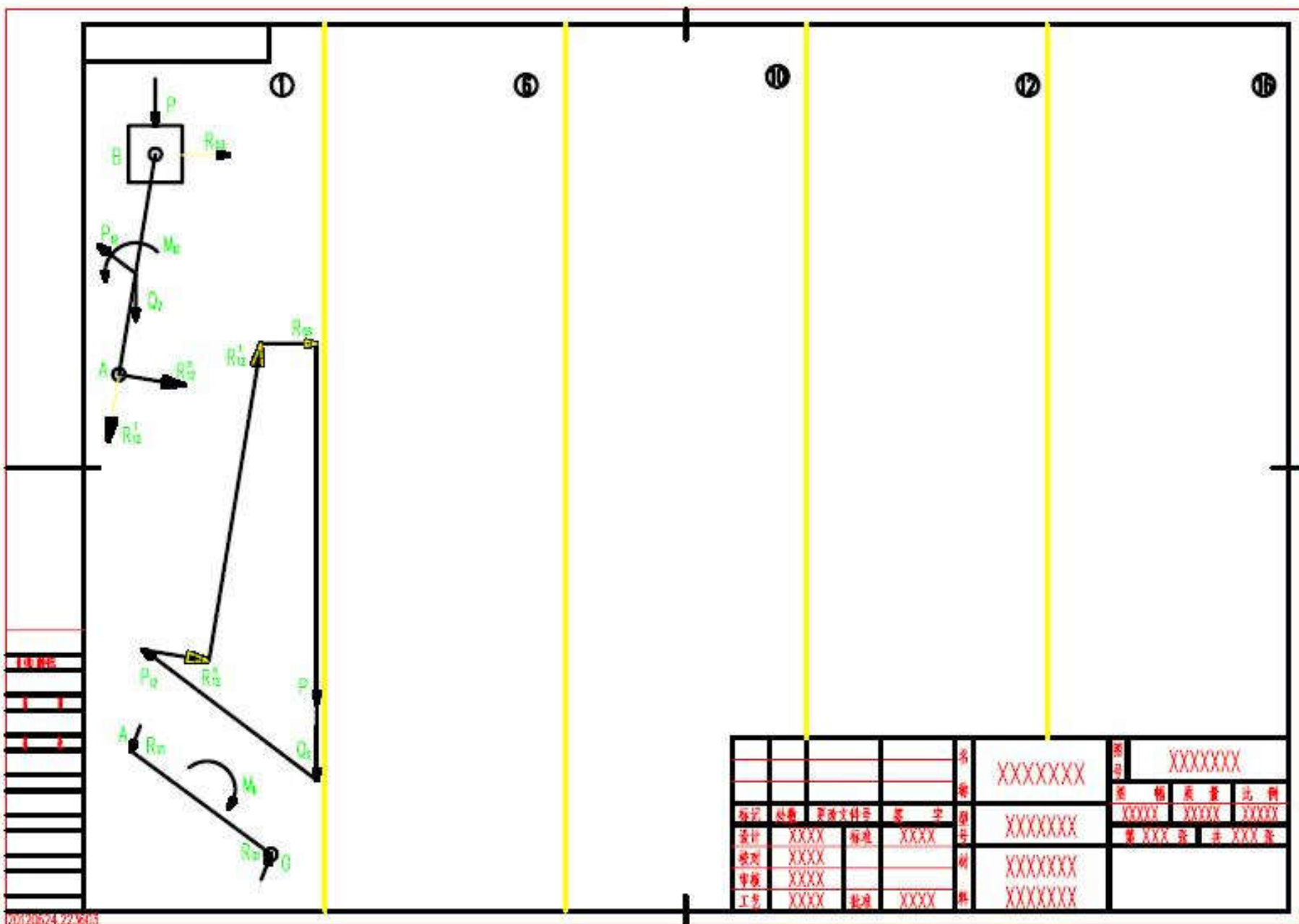
6.4 动态静力分析步骤

- (1) 计算活塞上的气体压力 $p' = p_i \cdot F$ (N) F —活塞的面积 (cm^2)
- (2) 求作用于构件上的惯性: $p_{I_2} = -m_2 \cdot a_{c_2}$ $J_{C_2} = m_2 \cdot \rho_C^2$ $P_I = -m_3 \cdot a_B$
- (3) 计算活塞上受力的大小及方向: $\bar{P} = \bar{P}' + \bar{P}_{I_3} + \bar{Q}_3$
- (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 $\sum M_B = 0$ 求出 R_{12}^t
- (5) 以构件2、3为示力体, 取 $\sum \bar{F} = 0$, 求 R_{12}^n 和 R_{03}
- (6) 以构件3为示力体, 取 $\sum \bar{F} = 0$, , 求 R_{23}
- (7) 以构件1为示力体, (构件1的重力忽略不计), 取 $\sum \bar{F} = 0$, 求出 R_{01}
再由 $\sum M_0 = 0$, 求出 M_b
- (8) 用一张4号图纸大小的方格纸作出 $M_b = M_b(\varphi)$ 曲线

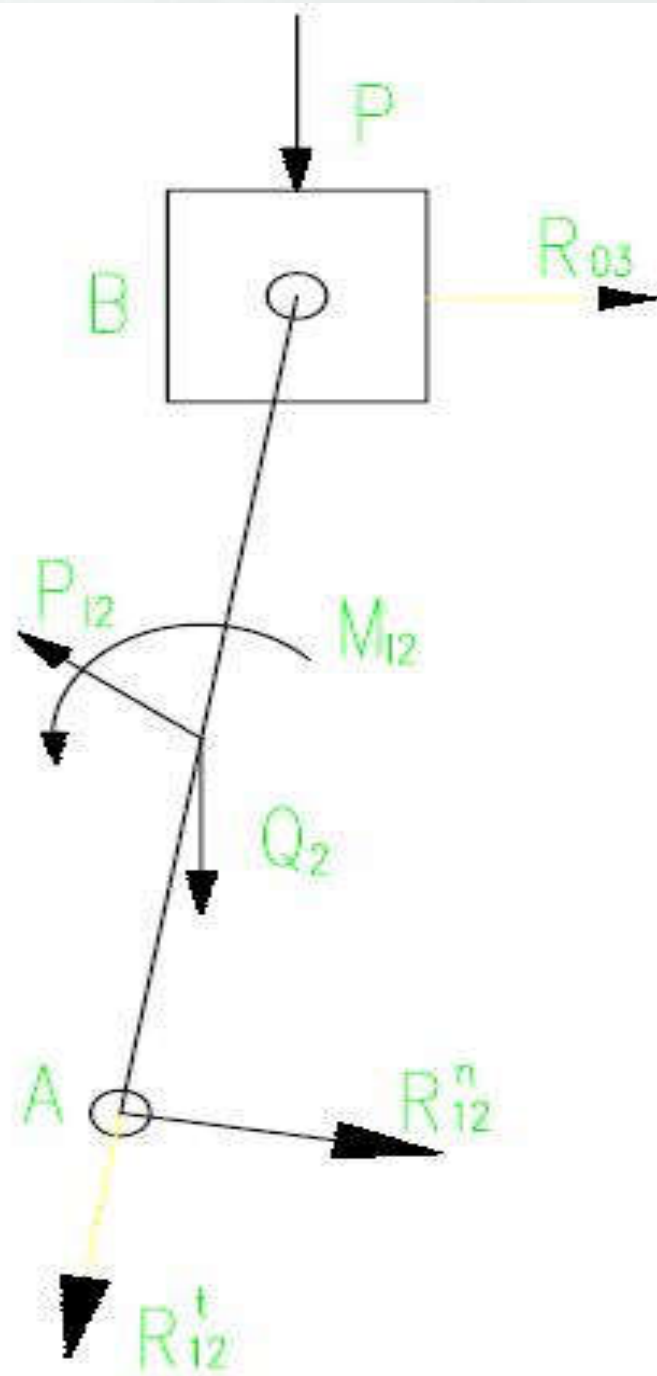
6.5 动态静力分析结果 (1号图纸)

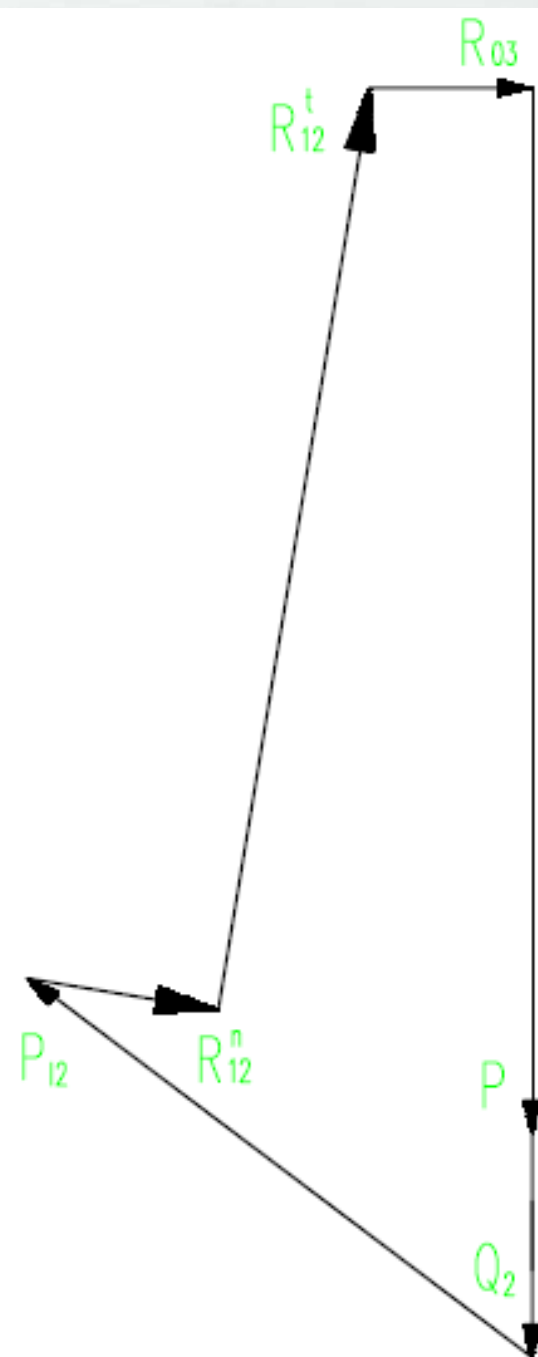
求出机构在各位置时各运动副的反力及应加于曲柄0A的平衡力矩 M_b
并用速度多边形杠杆法检验。（每人完成五个位置）各种数据均要列表表示：

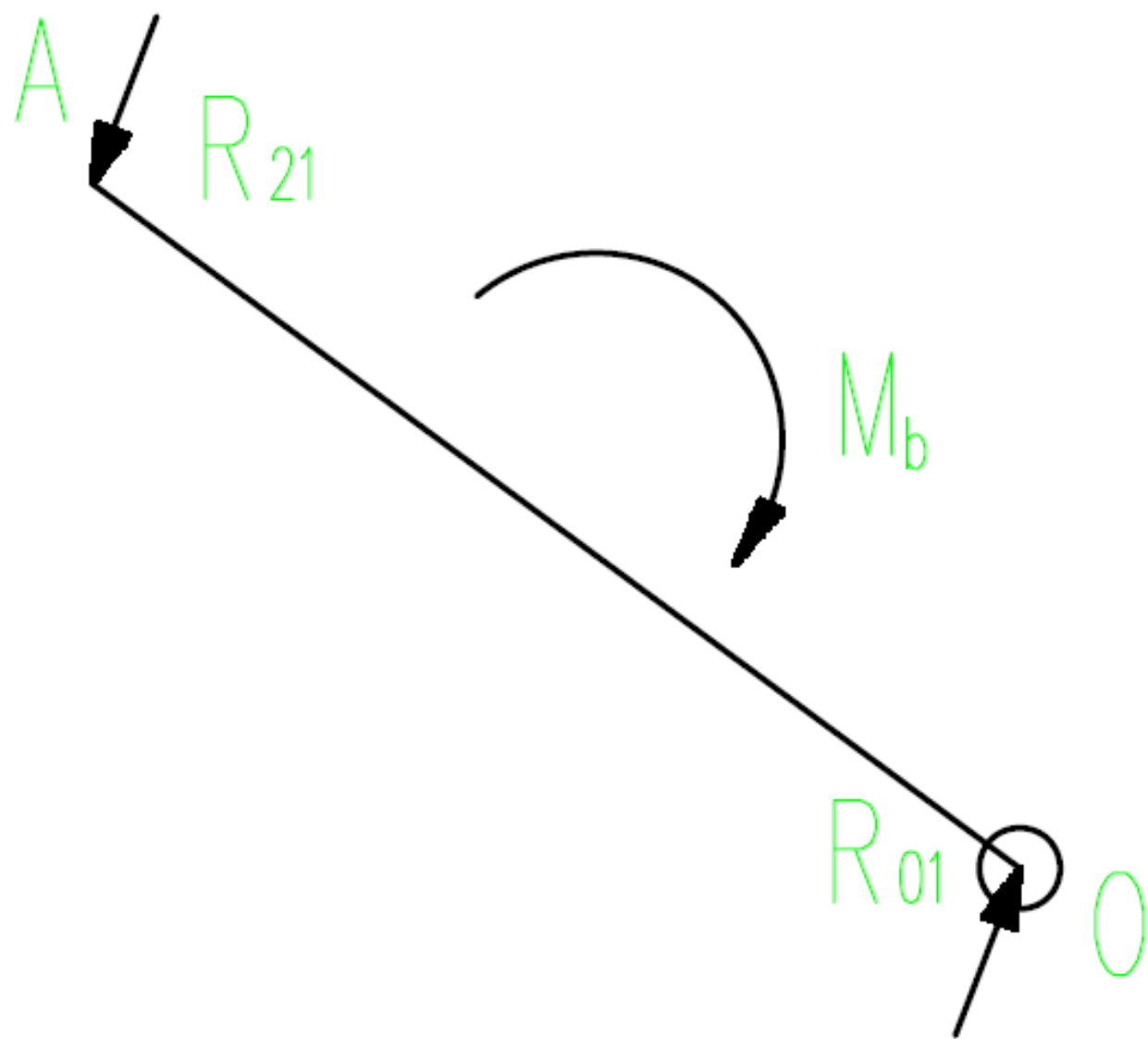
- (1) 将各个位置的 P_{I2} 、 M_{I2} 、 P_{I3} 等数值列于 表三。
- (2) 列出各个位置的 R'_{I2} 计算公式，并计算出其数值。
- (3) 将各个位置的 p' 、 R''_{I2} 、 R'_{I2} 、 R_{I2} 、 R_{03} 、 R_{23} 等数值列于 表四。
- (4) 将各个位置的 R_{01} 、 M_b 等数值列于 表五。



10020624.223605





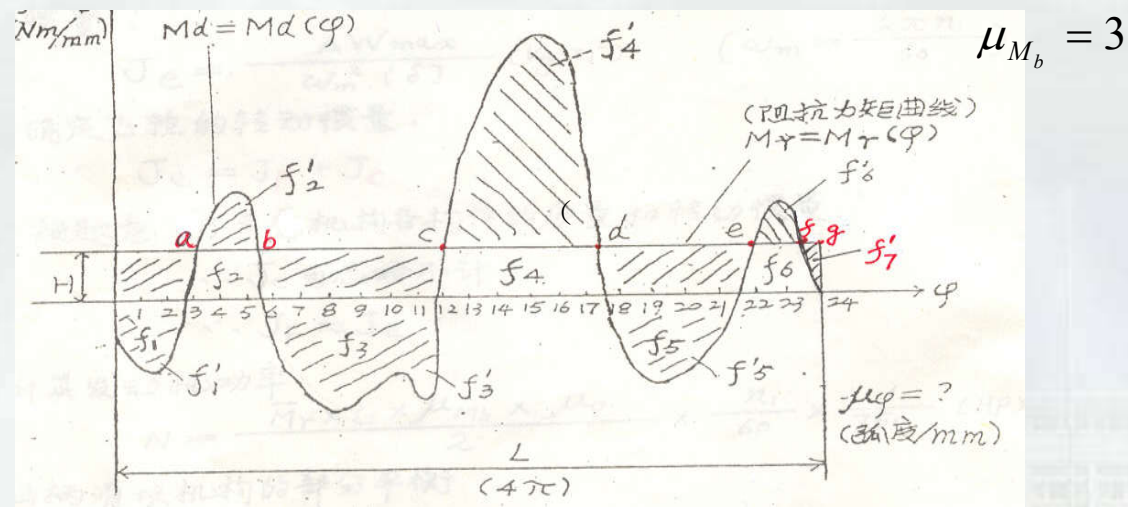


- 所有的力(力矩)、构件画粗实线
- 其余画细实线。
- 尺寸线的标注要符合国标要求。(标题栏, 图幅大小, 边框...等均要符合国标要求)
- 为封闭多边形、基本杆组尽可能画大一些。
- 不同位置的力的比例尺可以不同。

7. 用直角坐标作出曲线 $M_b=M_b(\varphi)$ (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 。

- (1) 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。
- (2) 把 $M_b = M_b(\varphi)$ 曲线作为 $M_d = M_d(\varphi)$ 曲线 (驱动力矩曲线)



- (3) 根据一个波动周期内的输入功等于输出功求阻力矩 (常数) M_r , 并作出阻力矩曲线

阻力矩的纵坐标 H :

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

$$M_r = \mu_M \cdot H$$

(4)根据上面各单元的面积求相应的功,并求出最大盈亏功 ΔW_{\max}

$$W_1 = f'_1 \cdot \mu_{M_B} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_2 = f'_2 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_3 = f'_3 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi}$$

$$W_4 = f'_4 \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_5 = f'_5 \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_6 = f'_6 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi} \quad W_7 = f'_7 \cdot \mu_{M_b} \cdot \mu_{\Phi}$$

$$\Delta W_{\max} = W_{\max} - W_{\min}$$

(5) 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:

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

(6) 确定飞轮的转动惯量:

不考虑各构件的质量和转动惯量: $J_F \approx J_e$

9. 计算发动机功率。

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

10.对曲柄滑块机构进行机构部分平衡（平衡A点的质量）

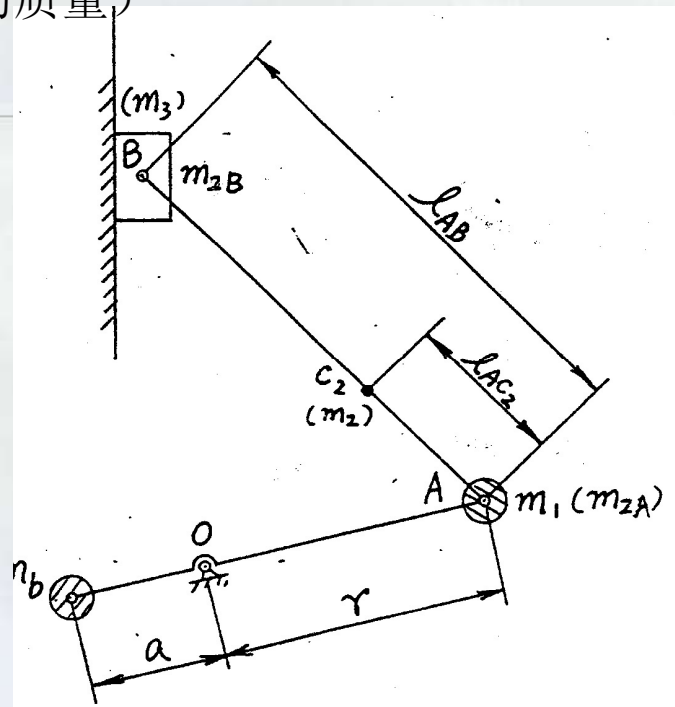
（1）把连杆的质量代换到A、B点

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

由上面的方程组可求得：

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

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



（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

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

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

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

11.用解析法设计凸轮Ⅱ的实际轮廓曲线

建立凸轮轮廓的数学模型，写出程序设计框图，编写程序，要有简短的程序说明及变量符号说明，上机计算并打印结果（包括凸轮轮廓曲线）。

12. 绘制内燃机的工作循环图 (4号图纸)。

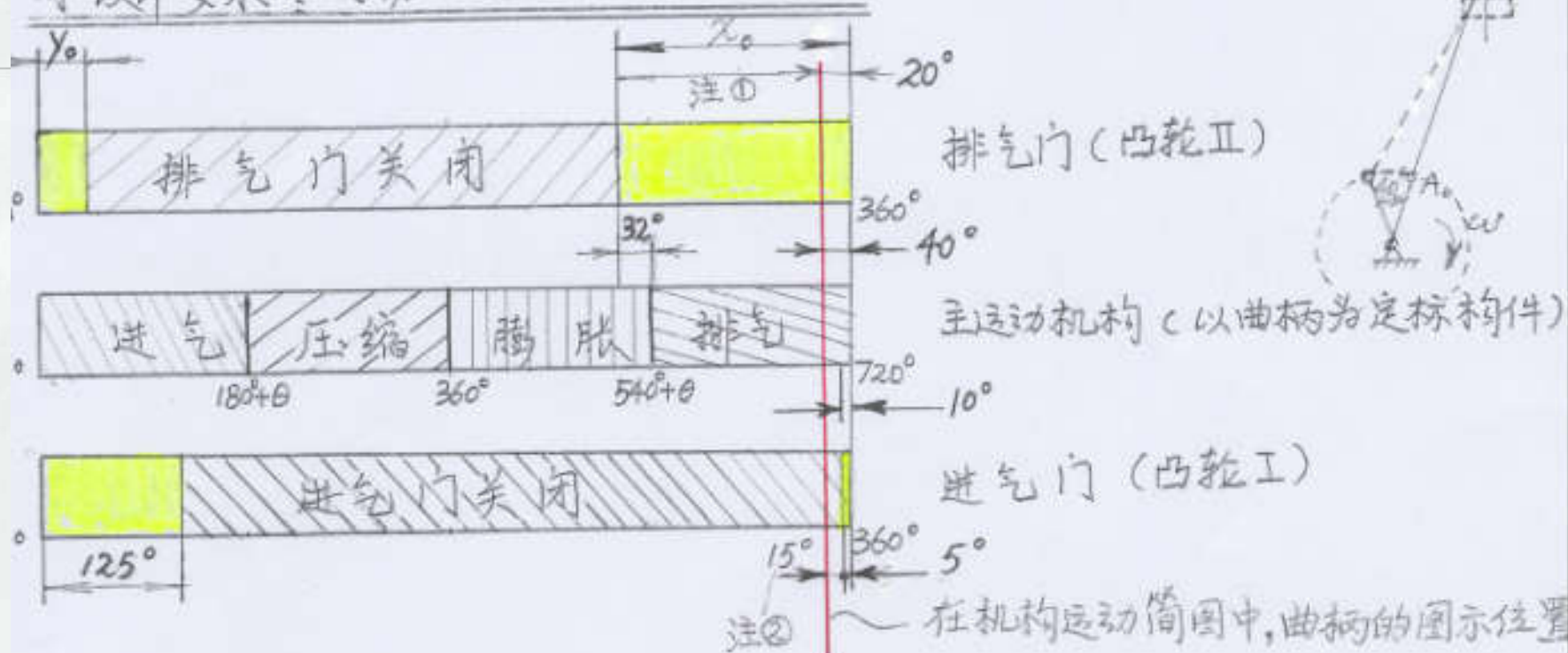
根据工作循环图及曲柄的位置，求出凸轮的安装角，把凸轮画在机构运动简图上。

五. 运动循环图 (工作循环图) (P497~P499)

- 为了保证机械在工作时其各执行构件间动作的协调配合关系，在设计机械时应编制出用以表明机械在一个工作循环中各执行构件运动配合关系的工作循环图 (也叫运动循环图)。
- 在编制工作循环图时，要从机械中选择一个构件作为定标件，用它的运动位置 (转角或位移) 作为确定其他执行构件运动先后次序的基准。
- 工作循环图通常有如下三种形式：
 - (1) 直线式工作循环图 (图14-7 / P498)
 - (2) 圆周式工作循环图 (图14-8 / P498)
 - (3) 直角坐标式工作循环图 (图14-9 / P499)

• 工作循环图是进一步设计机械传动系统的重要依据

本设计要求：采用直线式运动循环图



已知： $\left. \begin{array}{l} \text{升程角 } 60^\circ \\ \text{回程角 } 60^\circ \\ \text{远行程角 } 10^\circ \end{array} \right\} 130^\circ$

开放提前角： $\left\{ \begin{array}{l} \text{进气门} \cdots \cdots -10^\circ \\ \text{排气门} \cdots \cdots -32^\circ \end{array} \right.$

$$\alpha_0 = \frac{720^\circ - (540^\circ + \theta) + 32^\circ}{2} ; \quad Y_0 = 130^\circ - \alpha_0$$

13.最后，将设计过程写成**20**页左右的详细说明书。

六、课程设计的进度表

華南理工大學

机械原理课程设计进度表

| | 星期一 | 星期二 | 星期三 | 星期四 | 星期五 | 星期六 | 星期日 |
|-----|--|--|---|-----------------|---------|--|-----------------|
| 第一周 | 1.布置课程设计任务; 2.借资料、购买图纸、借绘图工具...等; 3.画机构运动简图。 | 1.完成机构运动简图(两个凸轮先不画); 2.开始进行机构运动分析。 | 完成机构运动分析。 | 开始进行曲柄滑块机构的力分析。 | 机构的力分析。 | 全部完成曲柄滑块机构的力分析。 包括: *动态静力分析 *速度多边形杠杆法 | 凸轮轮廓曲线的解析法设计及编程 |
| 第二周 | 1.上机调试凸轮设计程序并打印结果; 2.整理30个位置的 M_b 的数据。 | 1.画 $M-\varphi$ 曲线图; 2.计算 J_F 及 N 。 3.对曲柄滑块机构进行机构部分平衡。 | 1.画出工作循环图; 2.在第一张图纸上画出凸轮I、II。 3.编写说明书 4.复习相关内容,准备答辩。 | 答辩 | 答辩 | | |

上午: 8:00 ~ 11:30

下午: 2:30 ~ 5:30