

机械原理課程作业指導書

机械原理及机械零件教研室編

西安交通大學

1964. 2

机械原理课程作业指导书

編輯者：西安交通大学 机械原理及
机械零件教研室
发行者：西安交通大学教材供应科
印刷者：西安交通大学印刷厂

一九六四年二月第一版

印数：500册

目 录

一、目的及任务	1
二、柴油机简介	1
三、作业内容	2
四、注意事项	19
五、附录	21
I、题目数据	21
II、图表及说明	22
III、参考资料	30

机械原理课程作业指导书

一、目的及任务

本课程作业的目的在于使学生进一步系统地巩固和加深所学基本理论知识，提高计算、制图和运用技术资料的能力，并进一步接触工程实际，培养独立工作能力。

作业的任务是：在机组运动研究的基础上设计飞轮，进行曲柄滑块机构的运动分析和力计算，综合齿轮、凸轮机构。

二、柴油机简介

柴油机是内燃机的一种，它是将燃料（柴油）燃烧时所产生的热量转变为机械能的机械。

往复式内燃机的主体机构是曲柄滑块机构，此外还有齿轮和凸轮等机构（图一）。工作时活塞（即滑块）在气缸内受气体压力作用而作往复移动，通过连杆带动曲柄作旋转运动，由此带动工作机运动。与曲柄轴相固结的 Z_1 齿轮，通过与 Z_2 齿轮相啮合，带动凸轮轴，使凸轮 a 和 b 配合工作过程的要求，控制进气阀和排气阀的启闭时间。

往复式内燃机有二冲程及四冲程两种，我们所设计的是后一种，所谓四冲程即是在一个工作循环中，活塞往复移动二次，共作四个冲程的位移，与此对应，曲柄旋转两周。一个工作循环中的气缸压力变化可由测功器测出，并用示功图表示（见图一左上角）。图示的 $a \rightarrow b \rightarrow c \rightarrow a$ 分别对应于进气、压缩、膨胀（工作）和排气四个冲程时的气缸内压力变化曲线。

由这条曲线可以看出，在组成一个工作循环的四个冲程中，只有一个冲程（膨胀冲程）是作功的，其余三个冲程是依靠机械的剩余动能，即通常称为惯性来过渡的。因此输出的驱动力，是不均匀的。主

軸的角速度波動也很大。為了降低速度波動範圍，需加裝飛輪。此外飛輪還可增加機構的剩餘動能，幫助機構渡過死點。

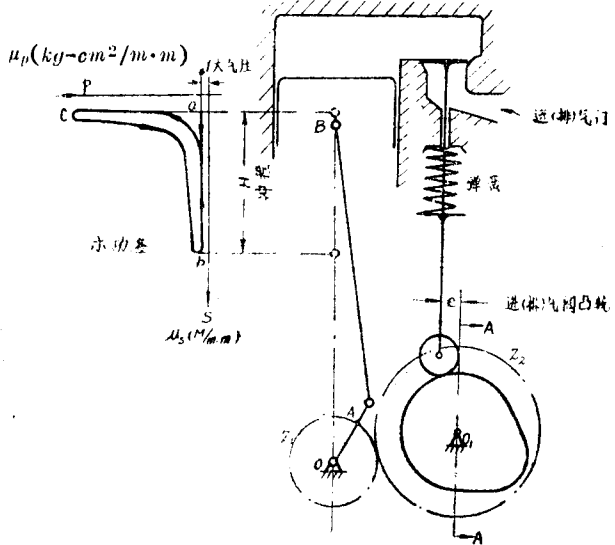


圖 1 柴油機運動簡圖及示功圖

$A-A$ 剖面有二個凸輪，一為進氣閥凸輪，另一為排氣閥凸輪，圖示只畫了其中之一。

為了增加功率并使驅動力均勻起見，一般較大功率的內燃機都為多缸。

三、作業內容

1、機組穩定運轉階段的運動研究

給定：

- $p_H(s_n)$ (見附錄表 1)。
- $M_c = \text{常數}$ 。
- 各構件的 J_s, m 。
- 穩定運轉開始時的 E_0 。

机組的运动 $\omega_1(\varphi)$ 、 $\varepsilon_1(\varphi)$ 。

解題步驟及方法：

1. 由示功图上的讀数，計算活塞在各个位置所受驅动力 P_A (見附录表 1)。

$$P_A = p_A \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \quad (1)$$

式中： P_A ——活塞所受驅动力(kg)。

p_A ——活塞单位面积所受压力，由示功图上讀得(kg/cm²)。

D ——活塞直徑(cm)。

2. 以曲柄軸 OA 为轉化构件計算轉化驅动力矩 M_{nA} 。

$$M_{nA} \cdot \omega_1 = P_A \cdot v_B$$

$$\therefore M_{nA} = P_A \cdot \frac{v_B}{\omega_1} = P_A \cdot \frac{\overline{pb} \cdot \mu_v}{\frac{\overline{pa} \cdot \mu_v}{l_{OA}}} = P_A \cdot \frac{\overline{pb}}{\overline{pa}} \cdot l_{OA}$$

式中： \overline{pb} 、 \overline{pa} 分別为速度图上代表 B 点和 A 点速度的綫段长度。

l_{OA} 为曲柄的真实长度。

为求得轉化力矩 M_n 及轉化轉动慣量 J_n ，虽然曲柄軸的 ω_1 值尚未求得，但由于 M_n 和 J_n 只和速度或角速度的比值有关(亦即只和机构的位置有关)，而与速度及角速度的绝对值无关，所以可以任意假定一个 ω_1 值来求机构各位置时的速度图。从图上量取 \overline{pb} 、 \overline{pa} 等綫段的长度。

具体作法如下：

1] 选取长度比例尺 $\mu_L(m/m \cdot m)$ ，画机构在一个工作循环(相当于曲柄轉兩轉 φ 由 $0^\circ \rightarrow 720^\circ$)所选的 28 个位置(見表 1 說明)的位置图。

2] 取原动件速度比例尺 $\mu_v = \omega_1 \cdot \mu_L(m/sec/m \cdot m)$ 作机构各个位置的轉向速度图。

作法如下：

i 由于 $v_A = l_{OA} \cdot \omega_1$ 或 $\overline{pa} \cdot \mu_v = \overline{OA} \cdot \mu_L \cdot \omega_1$ 。

如令

$$\mu_v = \omega_1 \cdot \mu_L$$

則

$$\overline{pa} = \overline{OA}$$

这时 ω_1 的大小只影响到 μ_v 的数值。

ii 如此可直接在机构位置图上作转向速度图。

例如，对于机构在 $\varphi_3 = 60^\circ$ 的位置(图 2)。

延长 AB 交 $\perp OB$ 的直线于 (b_3) 点， $\triangle O A (b_3)$ 与速度图是全同的。将 $\triangle O A (b_3)$ 顺 ω_1 方向转过 90° 就是速度图 $p \omega_3 b_3$ 了，这种作图方法既正确又迅速并能节省图幅地位，对求介较多个位置的速度时适用。只是应用这种方法时必须注意条件：

1) $\mu_v = \omega_1 \cdot \mu_L$

2) O 点对应地代表速度为零的 P 点。

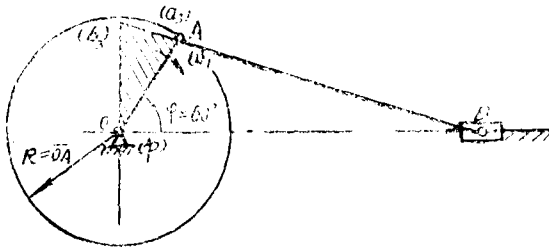


图 2 转向速度图作法示例。

3] 同样当取原动件加速度比例尺：即 $\mu_a = \omega^2 \cdot \mu_L$ 时，亦可把各位置的加速度图面在半径为 \overline{OA} 的圆上，圆心代表加速度为零的 π 点，这即是转向加速度图(加速度图转过 180°)。(在此不必作)

当各个位置的转向速度图作好之后，可求得对应各位置的转化驱动力矩 M_{nA} 值。

由上得：

$$M_{nA} = P_A \cdot \frac{pb}{pa} \cdot l_{OA} = P_A \cdot \frac{pb}{pa} \cdot \overline{OA} \cdot \mu_L$$

现取原动件速度比例尺 $\mu_v = \omega \cdot \mu_L$ 后， $\overline{pa} = \overline{OA}$ 。

故

$$M_{nA} = P_A \cdot \overline{pb} \cdot \mu_L \quad (2)$$

计算出 M_{nA} 数值后列成下表写于说明书中：

(注意： M_{nA} 值前有“±”号当 P_A 与 \overline{pb} 同向时为“+”异向时为“-”)。

3. 按一定比例尺 $\mu_{MnA} (kg \cdot m / m \cdot m)$ 作在稳定运转时的 $M_{nA} - \varphi$ 线图。

机构位置	P_A 公斤	\overline{pb} 毫米	μ_L 毫米	M_{nA} 公斤-米
0				
1				
⋮				
⋮				
28				

4. 根据 $A_{nA} = \int M_{nA} d\varphi$ ，可用綫图积分法求得在一个稳定循环中的驅动力所作之功 $A_{nA} - \varphi$ 綫图。

在綫图积分时由坐标原点向左量取綫段长 H ，建議取 $H = 30^{mm}$ 。

5. 因为在一个稳定循环中驅动力所作之功等于阻力功，若忽略重力及其他阻力功的影响，則 $A_{nA} = A_n$ 。現已知 $M_c = \text{常数} (= M_n)$ ，所以 $A_{nc} - \varphi$ 綫图即为連接 $A_{nA} - \varphi$ 綫图的坐标原点和循环結束位置 ($\varphi = 720^\circ$) 的纵坐标端点 (此点纵坐标即代表一个稳定循环中， A_{nA} 所作之功) 的傾斜直綫。

而此时， $\mu_{A_{nc}} = \mu_{A_{nA}} = \mu_A (kg \cdot m \cdot m)$ 。

6. 由机組运轉理論知，若忽略其他損耗，驅动力和阻力功的差，即为机組的动能变化，即

$$A_{nA} - A_{nc} = \Delta A = \Delta E$$

所以 $A_{nA} - \varphi$ 和 $A_{nc} - \varphi$ 兩綫图的纵坐标的差值 ΔA 即为机組的动能变化量 ΔE 。

量取各个位置的 ΔA 求出各个位置的 ΔE 值取比例尺 $\mu_{\Delta E}$ 即可得动能变化曲綫 $\Delta E - \varphi$ 。

7. 計算各机件轉化到曲柄軸 OA 上的轉化轉动慣量 J_n 。整个机組的轉动慣量可分兩部份：

$$J_n = J_{n0} + \Delta J_n$$

式中： J_{n0} ——轉化轉动慣量中常值部份，不随机构位置而变。

ΔJ_n ——随机构位置变化的其他构件的轉化轉动慣量，在本作业中 J_{n0} 包括：

1) 曲柄軸的轉化轉动慣量 J_{n01} (包括曲柄及按裝在曲柄軸上的齿

輪 I 与皮帶輪)。

2) 齒輪 II、凸輪 a、凸輪 b 的轉化轉動慣量 J_{n02} 。

$$J_{n0} = J_{n01} + J_{n02} = J_{s1} \left(\frac{\omega_1}{\omega_1'} \right)^2 + J_{s4} \left(\frac{\omega_1'}{\omega_1} \right)^2$$

ΔJ_n 包括:

$$\Delta J_n = J_{s2} \left(\frac{\omega_2}{\omega_1} \right)^2 + m_2 \left(\frac{v_{s2}}{\omega_1} \right)^2 + m_3 \left(\frac{v_{s3}}{\omega_1} \right)^2$$

取原動件速度比例尺經換算后 ΔJ_n 可列成下式:

$$\begin{aligned} \Delta J_n &= J_{s2} \left(\frac{\overline{ab}}{AB} \right)^2 + m_2 (\overline{ps_2} \cdot \mu_L)^2 + m_3 (\overline{pb} \cdot \mu_L)^2 = \\ &= K_1 (\overline{ab})^2 + K_2 (\overline{ps})^2 + K_3 (\overline{pb})^2 \end{aligned} \quad (3)$$

式中: \overline{ab} , $\overline{ps_2}$, \overline{pb} 等綫段可由已作的速度图上量取 ($m \cdot m$)。

\overline{AB} 是在位置图上連杆的长度 ($m \cdot m$)。

計算 ΔJ_n 后列成下表寫于說明书中。

机 构 位 置	K_1	$(\overline{ab})^2$	K_2	$(\overline{ps})^2$	K_3	$(\overline{pb})^2$	ΔJ_n
	$\frac{\text{kg-m-sec}^2}{m \cdot m^2}$	$m \cdot m^2$	$\frac{\text{kg-m-sec}^2}{m \cdot m^2}$	$m \cdot m^2$	$\frac{\text{kg-m-sec}^2}{m \cdot m^2}$	$m \cdot m^2$	kg-m-sec^2
0							
1							
⋮							
⋮							
⋮							
28							

8. 取 $\mu_{\Delta J_n} (\text{kg-m-sec}^2 / m \cdot m)$ 作 $\Delta J_n - \varphi$ 綫图。

9. 由 $\Delta E - \varphi$ 及 $\Delta J_n - \varphi$ 綫图中消去 φ 后得 $\Delta E - \Delta J_n$ 綫图。

10. 作 $\omega_1 - \varphi$ 綫图:

i 机組運轉到某一位置时其功能。

$$E = \frac{1}{2} J_n \omega_1^2$$

ω_1 —— 該位置时轉化构件的角速度。

J_n —— 該位置的轉化轉動慣量 ($= J_{n0} + \Delta J_n$)。

$$\therefore \omega_1 = \sqrt{\frac{2E}{J_n}} \quad (4)$$

式中 E 包括兩部份 $E_0 + \Delta E$ (E_0 是稳定循环开始时机组具有的初始动能)。

ii 把 $\Delta E - \Delta J_n$ 綫图的横坐标按比例尺 $\mu_{\Delta E}$ 下移一段代表 E_0 的綫段 l_y ($l_y = \frac{E_0}{\mu_{\Delta E}}$)，而把纵坐标按比例尺 $\mu_{\Delta J_n}$ 左移，代表 J_{n0} 的綫段 l_x ($l_x = \frac{J_{n0}}{\mu_{\Delta J_n}}$)，則原来的 $\Delta E - \Delta J_n$ 曲綫即为新的坐标系中的， $E - J_n$ 曲綫，坐标原点在 O' (见图三)。

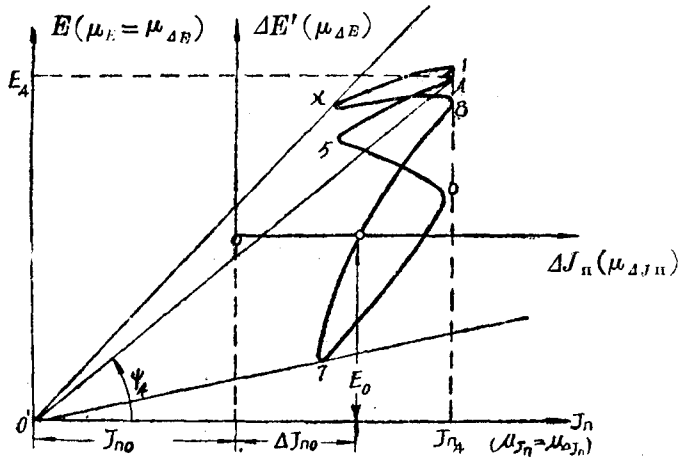


图 3 ($E - J_n$) 曲綫求主軸角速度

iii 机构不同位置时的 ω_1 值可利用 $E - J_n$ 曲綫来求得，求法如下：

仍以 $\varphi_3 = 60^\circ$ 位置为例：

对应此位置在 $E - J_n$ 綫图上有 4 一点。

$$(\omega_1)_4^2 = \frac{2E_4}{J_{n4}} = 2 \frac{\mu_E}{\mu_{J_n}} \operatorname{tg} \psi_4 \quad (5)$$

式中 ψ_4 为 4 点与坐标原点連綫和横坐标軸的夹角。

由图上量得 ψ_4 值后可据 (5) 式算出 $\varphi_3 = 60^\circ$ 时的 $(\omega_1)_4$ 值。

iv 現介紹一種由 Л. П. Смирнов 提出的全部用圖解法求得 ω 值的很簡便的方法；

(可參考 Г. Г. Баранов 著 Курс теории механизмов и машин 第 400—402 頁)。

具體作法如下：(參考圖四)

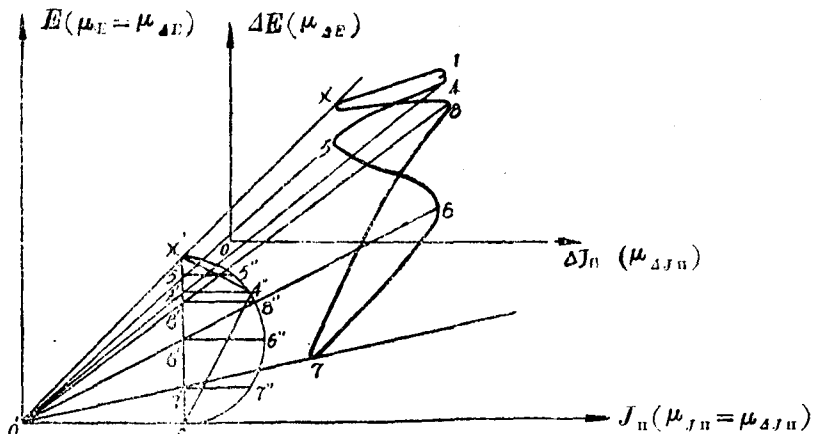


圖 4 Г. П. Смирнов 全圖解法求主軸角速度

1) 在橫坐標上任取一點 c ，(c 點位置可以任意選取，但最好這樣來選，即使在下邊得到的角速度比例尺 μ_ω 為一個較整齊的數值。

現建議取 $\overline{O'c} = 400mm$

2) 在 $E - J_{II}$ 曲線上，找得代表機構各位置的點 $0, 1, 2, 3, 4, 5 \dots$ 等。聯坐標原點和這些點得射綫 $\overline{O'1}, \overline{O'2}, \overline{O'3}, \overline{O'4}, \overline{O'5}, \dots$ 等。

3) 由 c 點作橫坐標的垂直綫交以上各射綫於 $1', 2', 3', 4', 5' \dots x$ 等點。

其中離橫坐標最遠最外側的交點為 x' 點。

4) 以 $\overline{c-c''}$ 為直徑作半圓由 $1', 2', 3', 4', 5', \dots$ 等點作平行於橫坐標軸的綫，交該半圓於 $1'', 2'', 3'', 4'', 5'', \dots$ 等點。

5) 綫段 $\overline{c1''}, \overline{c2''}, \overline{c3''}, \overline{c4''}, \overline{c5''} \dots$ 等即為對應於 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_4, \varphi_5 \dots$ 等各位置的代表 ω_1 值的綫段。這時角速度比例尺

$$\mu_\omega = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_{J_{II}} \cdot \overline{O'c} \cdot \overline{c x'}}$$

6) 在 $\omega_1 - \varphi$ 坐標上對應於機構各個不同位置量取相應的綫段即可

得 $\omega_1 - \varphi$ 綫图。注意此時的

$$\mu_\omega = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_{JH} \cdot o'c \cdot cx'}} (1/m \cdot m)$$

7) 这种作图方法可証明如下。

現以机构某一位置来証明:

就对 $\varphi_3 = 60^\circ$ 的位置而言, 求 $(\omega_1)_4 = ?$

据上述

$$(\omega_1)_4^2 = \frac{2\mu_E}{\mu_{JH}} \cdot \text{tg}^2 \psi_4 = 2 \frac{\mu_E}{\mu_{JH}} \cdot \frac{\overline{cA'}}{o'c}$$

在 $\Delta cxA''$ 和 $\Delta cA'A''$ 中:

$$(\overline{cA''})^2 = \overline{cA'} \cdot \overline{cA'}$$

$$\overline{cA'} = \frac{(\overline{cA''})^2}{\overline{cA'}}$$

把此代入上式得 $(\omega_1)_4^2 = \frac{2\mu_E}{\mu_{JH}} \cdot \frac{(\overline{cA''})^2}{o'c \cdot \overline{cA'}}$

$$(\omega_1)_4 = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_{JH} \cdot o'c \cdot \overline{cA'}} \cdot (\overline{cA''})^2} = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_{JH} \cdot o'c \cdot \overline{cA'}}} \cdot \overline{cA''}$$

若选

$$\mu_\omega = \sqrt{\frac{2\mu_E}{\mu_{JH} \cdot o'c \cdot \overline{cA'}}} (1/m \cdot m)$$

則

$$(\omega_1)_4 = \mu_\omega \cdot \overline{cA''} \quad \overline{cA''} = \frac{(\omega_1)_4}{\mu_\omega}$$

∴ $\overline{cA''}$ 就是代表 $(\omega_1)_4$ 值

以上証明对任何点都适用, 因此就証明了上述图解方法的正确。

11. 用綫图微分法可求得 $\varepsilon_1 - \varphi$ 綫图。

12. 以上全部綫图除曲柄滑块机构的机构位置图及速度图外, 全部画在一張 A_1 图幅上, 图幅布置可見(图 6)。

13. 以上作图时应注意的事項:

i 图形的比例尺的选取。

除考虑图幅地位限制外, 还应当注意是否受其他条件限制, 例如

綫图微积分时比例尺的关系，用图算法求 $\omega_1 - \varphi$ 时 μ_ω 的值等等。

ii 为使布置图形时方便，建議采用以下作图比例尺：

$$\mu_{M_{\text{max}}} = 1.2 \text{ kg} - \text{m} / \text{m} \cdot \text{m}$$

$$\mu_\varphi = \frac{\pi}{60} 1 / \text{m} \cdot \text{m} = 0.0524 1 / \text{m} \cdot \text{m}, \text{ (亦即用 240 毫米来代表}$$

$$\varphi = 4\pi \text{ 弧度的轉角)}$$

$$\mu_A = H \cdot \mu_\varphi \cdot \mu_M = 30 \times 0.0524 \times 1.2 = 1.8 \text{ kg} - \text{m} / \text{m} \cdot \text{m}$$

$$\mu_{\Delta E} = 1.47 \text{ kg} - \text{m} / \text{m} \cdot \text{m}$$

$$\mu_{J_n} = 1 \times 10^{-5} \text{ kg} - \text{m} - \text{sec}^2 / \text{m} \cdot \text{m}$$

iii 每个綫图旁边必須註明所用比例尺。

14. 把 $\omega_1 - \varphi$ 綫图描在透明方格紙上計算 ω_1 的平均值 ω'_{cp} ，校驗与所要求的 ω_p 值是否相符（允許 $\pm 2 \sim 3\%$ 誤差）。

15. 把求出的 ω_p 值以比例尺 μ_ω ，用点划綫画在 $\omega_1 - \varphi$ 綫图上。

总計算反映机組運轉不均匀性的不均匀系数 δ'

$$\delta' = \frac{\omega'_{\text{max}} - \omega'_{\text{min}}}{\omega_p}$$

II、飞輪設計

給定： ω'_{cp} ， δ' ， ΔE (ΔJ_n) 綫图。

求： ω_p ， δ

步驟与方法：

由机組的运动研究結果可看出，实际机器的角速度在運轉时有很大的波动，不滿足 $\delta = \frac{1}{100}$ 的要求，为改善机器的運轉性能，在机組的

轉化构件旋轉軸上安裝一飞輪（此飞輪亦可裝在和轉化构件成常值速比的其他軸上）。飞輪設計的作业內容就是要求得在角速度平均值不变的

的情况下保証机器運轉的不均匀系数为 $\delta < \frac{1}{100}$ 时应安裝的飞輪的

轉动慣量 J_M 或飞輪矩 GD^2 的大小。

1. 机組運轉的 ω_{max} 和 ω_{min} 值可由 $E - J_n$ 封閉綫图上最外側的兩射綫的傾角的正切值 $\text{tg} \psi_{\text{max}}$ 和 $\text{tg} \psi_{\text{min}}$ 来代表。

当 $\delta = \frac{1}{100}$ ，平均角速度值为 ω_{cp} 值时，允许的 ω_{max} 和 ω_{min} 值

可由下式计算得：

$$\omega_{max} = \omega_{cp}^2(1 + \delta) \quad (6)$$

$$\omega_{min} = \omega_{cp}^2(1 - \delta) \quad (7)$$

对应于 ω_{max} 及 ω_{min} 有

$$\operatorname{tg} \psi_{max} = \frac{\mu_{Jn}}{2\mu_E} \omega_{max}^2 = \frac{\mu_{Jn}}{2\mu_E} \omega_{cp}^2(1 + \delta) \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} \psi_{min} = \frac{\mu_{Jn}}{2\mu_E} \omega_{min}^2 = \frac{\mu_{Jn}}{2\mu_E} \omega_{cp}^2(1 - \delta) \quad (9)$$

2. 求得的 ψ_{max} 和 ψ_{min} 显然与原来没有按装飞轮时的 ψ'_{ma} 及 ψ'_{mi} 数值不同，加一飞轮实际上即是增加机组的转化转动惯量，使机组的转化转动惯量变为：

$$J_n = J_0 + \Delta J_n + J_M \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2$$

式中 ω 为按装飞轮的轴的角速度。

所以飞轮加入后 $E - J_n$ 綫图的坐标原点必往左移动 $\frac{J_M \left(\frac{\omega}{\omega_1} \right)^2}{\mu_{Jn}}$

的距离。

加入飞轮后要保持原来的 ω_{cp} 值必须使机组的初始动能亦增加，所以坐标的原点亦应往下移。新的坐标原点即为由倾角为 ψ_{max} 和 ψ_{min} 而切于 $\Delta E - \Delta J_n$ 上下两侧的射綫的交点 o'' 。确定 o'' 后即可知 J_M 值（具体求法可见参考书，在此从略）。

3. 为求解方便有时不一定求出 o'' 点而是根据此两射綫与 ΔE 轴的兩交点 K, L 来求 J_M 值（见图五）。

經推算后可得：

$\Delta E - \Delta J_n$ 坐标系离新的坐标系纵坐标的距离：

$$\overline{o''d} = \frac{\mu_E}{\mu_{Jn}} \cdot \frac{\overline{KL}}{\delta} \cdot \frac{1}{\omega_{cp}^2}$$

$$\mu_{Jn} \cdot \overline{o''d} = \mu_E \cdot \frac{\overline{KL}}{\delta} \cdot \frac{1}{\omega_{cp}^2}$$

式中 $\mu_{Jn} \cdot \overline{o''d}$ 代表加飞轮后机组的常值部份转化转动惯量。其中包括

$(J_M + J_{n0})$ ，所以由 \overline{KL} 計算得 $\overline{o^{\nu}d}$ 后可求得 J_M 值：

$$J_M = \mu_{J_H} \cdot \overline{o^{\nu}d} - J_{n0} (kg - m - sec^2) \quad (10)$$

4. 決定飛輪矩 GD^2 。

$$GD^2 = 4gJ_M (kg/m^2) \quad (11)$$

式中： g —重力加速度 (m/sec^2)。

5. 將全部計算過程寫於說明書中。

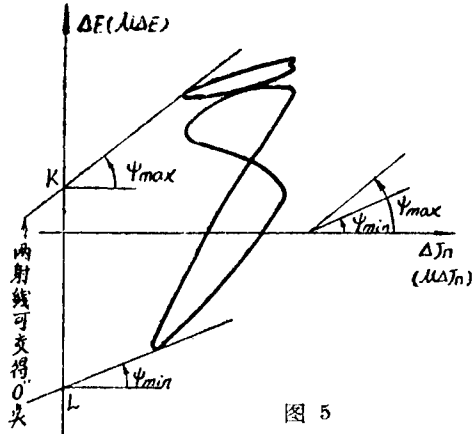


圖 5

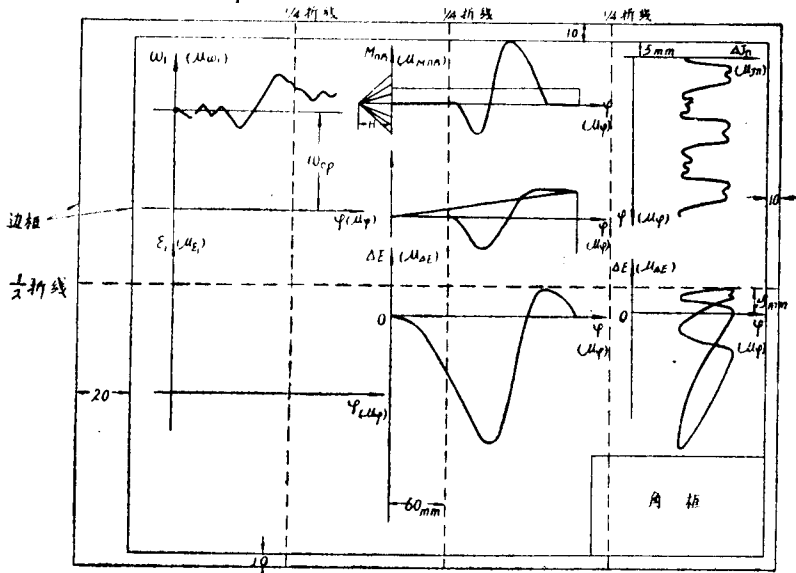


圖 6 機組運動研究与飞輪設計的圖紙布置參考圖。

III、曲柄滑块机构的运动分析

給定 ω_1, ε 机构尺寸
求 連杆与曲柄的运动

介題步驟及方法:

1. 在机組运动研究和飞輪設計后, 我們已知該机組在 ω_{ep}, δ 的范圍內运动着。由于 δ 值极小, 故在实际工作中可假定曲柄在任何时候都以 $\omega \approx \omega_{ep}$ 運轉, 且設 $\varepsilon \approx 0$ 。这样并不会帶來很大的誤差, 但恰使实际运算簡化不少。

上述求 M_{nA} 和 ΔJ_n 中, 已經作出了任取的速度比例尺 μ_v 的轉向速度图。現在进行运动分析时, 由于速度图是轉向速度图即順 ω 轉过 90° 的图形, 因此可不必另作图形, 只要計算一下速度比例尺就行了。

i 計算所得的速度比例尺: $\overline{\mu}_v = \omega_1 \mu_L = \omega_{ep} \cdot \mu_L = \frac{\pi n_{ep} \mu_L}{30}$

如欲求任一位置 x 的絕對速度, 則

$V_B = \overline{Pb}_x \cdot \overline{\mu}_v$ \overline{Pb}_x ——以原动件速度比例尺作出的轉向速度图上相应点的速度綫段。

ii 列速度矢量方程式, 以字母和符号表出所求位置的速度的大小和方向。

iii 將計算数据代入下表:

机 构 位 置	$\overline{\mu}_v$ (M-sec ⁻¹ / m·m·)	\overline{Pb}_x (m·m·)	V_B (M/sec)	ω_2 (1/sec)

V_B 的方向以垂直向上为正, ω 的方向以順鐘向为正。

2. 取 $\overline{\mu}_a = \omega_{ep}^2 \cdot \mu_L$, 列加速度矢量方程, 作轉向加速度图, 求机构

的加速度。将作图得到数据列入下列表格：

机构 位置	$\overline{\mu_n}$ ($M\text{-sec}^{-2}$ / $m \cdot m$)	$\overline{\pi b}$ ($m \cdot m$)	a_B ($M\text{-sec}^2$)	$\overline{\pi s_2}$ ($m \cdot m \cdot$)	a_{s_2} ($M\text{-sec}^2$)	ε_2 (1 sec)	a_{s_1} ($M\text{-sec}^2$)

加速度 a 的方向以垂直向上的直綫为度量基准綫，順钟向量量其夹角，以度数表示。記入表格中数据后的括号內。 ε 的方向以順钟向为正。

上述运动分析部分，每位同学計算二个位置的速度和加速度。

IV、曲柄滑块机构的动态靜力計算

給定 各构件 J_s, m

各构件 V, a

P_n, M_r

求 各构件 P_n, M_n 及 P_n' ，运动付反力 R

介題步驟及方法：

1. 計算各构件的慣性力和慣性力偶矩，并将其合成为合成慣性力。将計算結果填入下表：

机 构 位 置	m_1 ($kg \cdot m^{-1} \cdot sec^2$)	a_{s_1} (M / sec^2)	P_{n1} (kg)	ω_2 ($kg \cdot m^{-1} \cdot sec^2$)	a_{s_2} (M / sec^2)