

机械原理实验教程

(初稿)

季東防院工學院

机械原理与零件教研組編著

一九六一年八月

实验须知

1. 事前阅读实验教程，了解实验的目的、原理和步骤。
2. 保持实验室安静，遵守实验操作规程，实验完毕应将仪器设备整理好并放置原处。
3. 实验报告务需书写清楚，数据要有足够的准确度。

序 言

机械原理是研究机器和机构的构成原理及其理论和试验研究方法的一门学科。机械原理在高等工业学校中是一门十分重要的基础技术课程。

机械原理实验是本课程教学过程中的重要一环，它的目的是在于：帮助学生深刻理解本课程课堂讲授的理论知识，使学生逐步习惯于应用理论知识来解决机械工程实际问题，并给予学生进行试验研究工作的某些基本训练及现代实验测定的初步知识。

本教程是参照我院现有的机械原理实验内容所编写的，所包含的内容有如下几个方面：

- 一、机构运动简图的绘制。
- 二、运动参数的测定。
- 三、力的测定。
- 四、齿轮范成及其基本参数的测定。
- 五、迴转体的平衡。

同时，还结合某些实验介绍一些现代实验测量技术的知识，诸如：高速摄影法、频闪观察法、电测法等。

在上列各项实验内容中，除个别实验外，大都是在近年来结合教改、科研任务，采取土洋结合、因陋就简的方法搞出来的。由于我们水平的限制，对实验工作尚处于摸索阶段，缺乏实际经验，因而在工作中还存在着许多问题。例如：对机械中的摩擦、机械的效率、动平衡等实验还有待于补充；实验内容如何与教学更密切地配合，也需要进一步研究。因此恳请各方面提出意见和建议，俾改编时更正。

目 录

序言	
实验一	机构运动简图的繪制..... (1)
实验二	典型另件的重心位置和轉动慣量的測定..... (6)
实验三	徑向軸承誘导摩擦系数和构件轉动慣量的測定... (21)
实验四	齿輪范成原理..... (29)
实验五	齿輪各部份参数的測定..... (33)
实验六	齿輪机构的运动分析..... (39)
实验七	用頻閃观察仪研究織布机綜統的运动規律..... (42)
实验八	用电測法研究凸輪挺杆的运动規律..... (48)
实验九	用高速摄影法研究梭子在梭道中的运动規律..... (55)
实验十	瞬时角速度及迴轉不匀率的測定..... (59)
实验十一	用电阻应变仪測量投梭力的大小..... (66)
实验十二	轉子的靜平衡..... (73)
附录 (76)

实验一 机构运动简图的绘制

一、实验目的：

因工艺要求和工艺过程的不同，生产中采用了各种类型的机械。机械的种类虽多，但各种机械有着共同的特点：机械按着一定的方式和规律组成；依靠各种典型机构的组合来完成所需要的动作。因而掌握机构的组成方式和规律，熟悉各种典型机构及其特点，是研究和设计机械时必须具备的基本知识。

机械的外形构造决定于强度、刚度、制造、运转等一系列因素，因此同一类型的典型机构，在不同的机械中可以具有不同的外形构造。为了便于研究机械的运动，往往不考虑与机械运动无多大关系的实际结构形状，而将各种机械绘制成能够清晰表示其运动特性的机构运动简图。在设计新机器时，也总是要先设计出符合运动要求的机构运动简图。因而机构运动简图的绘制是研究和设计机械的重要手段。

本实验的目的在于：

(1) 观察运动付机构的实际结构。将讲课时的抽象图形与实物联系起来，以增加学生的感性知识。

(2) 习作以运动简图的形式来表示机械。

二、实验内容：

(1) 观察典型机构的模型、实物和挂图，了解其一般用途和运动特性。

(2) 观察织布机上各种运动付的实际结构，并绘成简图和立体图。

(3) 依照指定的实物和模型，按比例尺绘制运动简图。

三、实验说明:

1. 由于机构的运动与机构中运动付的类型（转动付、移动付、高付等）以及各运动付之间的相对位置（转动付中心、移动付中綫、高付接触点的位置）有关，因此在运动簡图上应该表示出这些参数。

2. 构件和运动付常用的表示法見表 1。

表 1 构件运动付的表示法










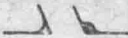

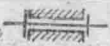

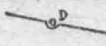

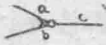




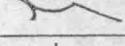


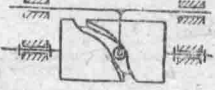
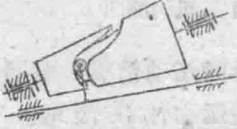
图 例	表 示 内 容
	單向直綫运动
	往复运动
	單向迴轉运动
	摆 动
	交替移动
	点的規跡
	要素的几何軸綫
	簡單构件
	固定不动构件(机架)
	剛性連結
	含有三个轉动付的构件
	轉动付連接(轉动軸綫在紙平面內)

图 例	表 示 内 容
	连接点D在构件軸綫之外
	连接点D在构件軸綫上
	三个构件连接
	a, b刚性连接, 与c用转动付连接
	移动付
	在固定导規內的滑块
	帶有导杆xx的迴轉滑块
	球面付
	高付(应将接触輪廓綫画出)
	移动从动件盤形凸輪
	帶有滾子的搖摆从动件盤形凸輪
	圓柱凸輪
	圓錐凸輪

3. 比例尺。由于真实机构的大小与图紙的大小不同，而在簡圖上进行的运动学和动力学分析的研究結果，又要移用到真实

机械上去，所以簡图的尺寸必須和真实机构的尺寸成比例。

长度比例尺

$$\mu_l = \frac{L_{AB} \text{ (真实长度)}}{AB \text{ (图上的长度)}} \text{ 米/毫米,}$$

意即一毫米綫段代表实际机构中 μ_l 米的长度。

举例：某一直杆的长度 $L_{AB} = 1$ 米，繪在图紙上的长度 $AB = 100$ 毫米，則长度比例尺

$$\mu_l = \frac{L_{AB}}{AB} = \frac{1}{100} = 0.01 \text{ 米/毫米。}$$

以上表示图上1毫米的长度代表0.01米的真实长度。

确定了长度比例尺以后，如果已知真实长度 L_{AB} ，則图紙上的长度

$$AB = \frac{L_{AB}}{\mu_l} \text{ 毫米}$$

相反，知道了图紙上的长度 AB ，可以求出真实长度

$$L_{AB} = \mu_l \cdot AB \text{ 米}$$

4. 机构运动簡图的画法。

图1 a所示为一偏心輪机构的草图，其运动簡图的繪制步骤如下：

(1) 認清机构中的各构件，並在构件上标上号码，如1—机架、2—偏心盘、3—偏心环及連杆、4—滑块。

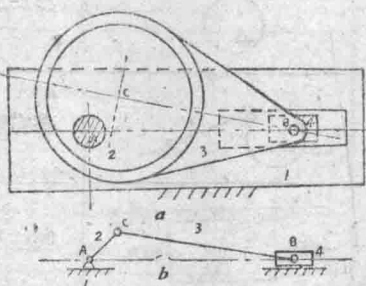


图1 机构簡图

(2) 慢慢盘动原动件，仔細观察各构件的运动情况，判明每两个相互联接的构件之間，是用那一种类型运动付联接的。例如：构件1与2之間的相对运动是繞A点轉动，所以构件1与2形成轉动付A；构件1与4之間的相对运动是水平移动，所以构

件1与4形成移动付；构件3与4之間的相对运动是繞B点的轉动，构件3与4形成轉动付B；构件2与3之間的相对运动是繞圓盘圓心C点的轉动，所以构件2与3也形成轉动付。

(3) 撇开各构件的具体构造形状，用代表构件及代表运动付的符号，在图紙上繪出不按比例示意图。

(4) 用直尺或卡尺在机构上量出每一与机构运动有关的尺寸。例如：兩轉动付之間的距离，轉动付与移动导槽之間的距离。选择合适的长度比例尺，参照不按比例的示意图，以量得的距离用直尺、圓規按比例画出运动簡图(图1b)。

四、实验报告：

結構分析及机构 运动簡图的繪制	姓名		同組者	
	班級		教师	日期
.....				

- (1) 列举各种典型机构，說明这些机构的用途和运动特征。
- (2) 繪制五种运动付的实际結構形状。
- (3) 按比例尺繪制运动簡图(图上註明比例尺)。
- (4) 計算机构的活动度。

实验二 典型另件的重心位置 和转动惯量的测定

一、实验目的：

掌握各种另件的重心位置和转动惯量的实验测定方法。

二、基本原理：

进行机构的动力学计算时，构件的重心位置及转动惯量是一个必要的数椐。一般说来，因构件的形状复杂，这些数椐是很难用计算方法求得，往往只能用实验的方法来确定。

常用的转动惯量测定法有五种，即物理摆法、单线悬挂法、多线（双线、叁线、多线）悬挂法、落重法及停车法。现分述于下：

1. 物理摆法：将被测构件挂在稜形刀口上，使构件的中心轴线与刀口稜边平行（图2）。开始时使构件偏离其平衡位置有一微小角度（小于 10° ），构件在本身重力的作用下，将作往复摆动，形成一物理摆。

构件的运动方程式为：

$$J_A \frac{d^2\phi}{dt^2} = -Gbs\sin\phi \approx -Gbb\phi$$

式中：G——构件的重量，公斤；

b——悬挂点至构件重心的距离，厘米；

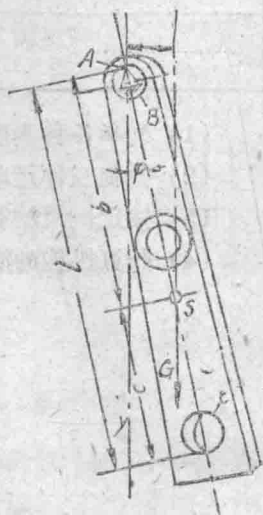


图2 复摆法测定构件的转动惯量

J_A ——构件对于悬挂点 A 的转动惯量；

ϕ ——摆动角度。

该运动方程式的周期为：

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{Gb}}$$

若测得其周期 T_A 后，则可解得：

$$J_A = \frac{Gb}{4\pi^2} T_A^2$$

悬挂点至重心距离的确定，可以采用实验测定的方法（见后）。亦可采用其他间接的方法求得 J_A 的数值，如两次悬挂法或附加重量法。

(1) 两次悬挂法：先将孔 A 悬挂于稜形刀口上，测得其周期

$$T_A = 2\pi \sqrt{\frac{J_A}{Gb}}$$

然后将孔 C 悬挂于稜形刀口上，则得其周期为 T_C

$$T_C = 2\pi \sqrt{\frac{J_C}{Gc}}$$

因为

$$J_A - mb^2 = J_C - mc^2$$

$$l = b + c$$

因而可以联立解得：

$$c = l \frac{4\pi^2 l - T_A^2 g}{8\pi^2 l - g(T_A^2 + T_C^2)},$$

或

$$b = l \frac{4\pi^2 l - T_C^2 g}{8\pi^2 l - g(T_A^2 + T_C^2)}.$$

式中： c ——悬挂点至构件重心的距离；

m ——被测构件的质量；

g ——重力加速度。

(2) 附加重量法：若被测构件的两端具有外伸的短轴，则在外伸短轴上附加一已知重量 G_0 、转动惯量 J_0 的重块，该重块的重心离悬挂点的距离为 e （图3）。

此时测得该组合的摆动周期为 T_{Σ}

$$T_{\Sigma} = 2\pi \sqrt{\frac{J_B + J_0 + m_0 e^2}{Gb + G_0 e}}$$

式中： J_B ——构件（不包括已知重块）对悬挂点的转动惯量；

G ——构件的重量；

b ——构件重心至悬挂点的距离。

未加重量时，被测构件单独的摆动周期为 T_B

$$T_B = 2\pi \sqrt{\frac{J_B}{Gb}}$$

联立解二方程式即可得：

$$J_B = \frac{J_0 + m_0 e^2 - G_0 e^2 \frac{T_{\Sigma}^2}{4\pi^2}}{\left(\frac{T_{\Sigma}}{T_B}\right)^2 - 1}$$

若附加重块的重心与悬点重合， $e = 0$ ，

则

$$J_B = \frac{J_0}{\left(\frac{T_{\Sigma}}{T_B}\right)^2 - 1}$$

这种方法适宜于测量连杆类的复杂零件。

2. 单线悬挂法：所用装置是一根垂直悬挂的弹性钢丝，它的

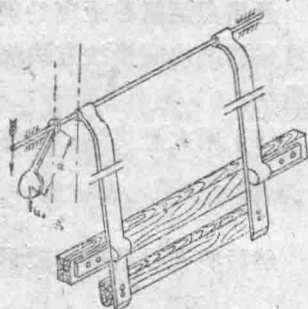


图3 附加重量法测定构件的转动惯量

一端被固定，而另一端則裝有用作挾持被測構件的夾頭。將被測構件用夾頭夾緊，並使其中心軸綫與鋼絲的軸綫相重合(圖4)。

開始時，將整個裝置偏离其平衡位置，並扭轉一小角度(一般小於 10°)。在鋼絲的彈性力矩的作用下，整個系統將作扭轉振動，形成一扭擺。

此時其運動方程式為：

$$J_{\Sigma} \frac{d^2 \phi}{dt^2} = -M = -\phi \frac{GJ_p}{l}$$

式中： J_{Σ} ——為整個系統(包括被測構件與儀器裝置)的轉動慣量；

J ——被測構件對扭轉軸綫的轉動慣量；

J_0 ——儀器裝置對扭轉軸綫的轉動慣量；

l ——鋼絲長；

G ——鋼絲的剪切彈性模數；

J_p ——鋼絲橫斷面的極慣性矩。

與物理擺法相似，這一系統的運動周期為 T_{Σ} ：

$$T_{\Sigma} = 2\pi \sqrt{\frac{J_{\Sigma} l}{GJ_p}}$$

整個系統的轉動慣量

$$J_{\Sigma} = \frac{T_{\Sigma}^2}{4\pi^2} \frac{GJ_p}{l}$$

被測構件的轉動慣量

$$J = J_{\Sigma} - J_0 = \frac{T_{\Sigma}^2}{4\pi^2} \frac{GJ_p}{l} - J_0$$

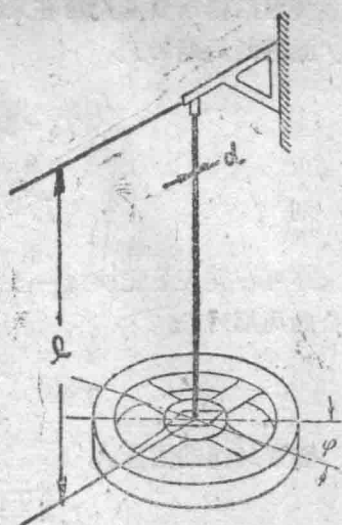


圖4 用單綫懸掛法測定構件的轉動慣量

裝置的轉動慣量 J_0 可在未裝上構件時用同樣的方法先行測定。測得的周期為 T_0 。

$$T_0 = 2\pi \sqrt{\frac{J_0 l}{GJ_p}}$$

則

$$J_0 = \frac{T_0^2}{4\pi^2} \frac{GJ_p}{l}$$

亦可在夾頭上先挾持一已知轉動慣量為 J_1 的圓盤，測定這一組的周期為 T_1

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(J_0 + J_1)l}{GJ_p}}$$

裝置的轉動慣量 J_0

$$J_0 = \frac{T_1^2}{4\pi^2} \frac{GJ_p}{l} - J_1$$

這種方法適宜於測量對於沿着重心軸具有很大大尺寸的構件，例如曲柄軸以及迴轉體（帶輪、止輪）等。

3. 多綫懸掛法：為了消除單綫懸掛法被測構件平面晃動所引起的誤差，可採用多綫懸掛法。

(1) 雙綫懸掛法：支架 A 上懸掛着二根金屬綫，試件就對稱的吊在下端，二金屬綫所受的載荷應該相等（圖 5）

若將試件繞通過二綫中央的鉛直軸綫轉過一個不大的角度，然後放手，則試件將繞此軸綫作擺動，形成一扭擺。

設該裝置的擺動部份（底座）連同試件的總重量為 G_S ，在力矩 M 作用下，轉過一個角度 $d\phi$ ，此時

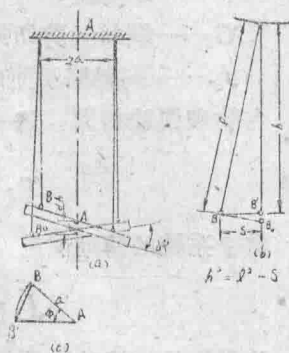


圖 5 雙綫懸掛法測定構件轉動慣量

二綫形成傾斜，同时試件上升一微小高度 dh 。根据能量方程式得：

$$Md\phi + G_x dh = 0 \quad ,$$

从图5b可知：

$$h^2 = l^2 - s^2 \quad ,$$

从图5c可知：

$$s = 2a \sin \frac{\phi}{2} \quad ,$$

代入上式得：

$$h^2 = l^2 - 4a^2 \sin^2 \frac{\phi}{2} \quad ,$$

微分后得：

$$h dh = -a^2 \sin \phi d\phi \quad ,$$

由此求得 $d\phi$ 並代入得：

$$M = \frac{a^2 G_x \sin \phi}{h}$$

如金屬綫很长，而摆角較小，則可以認為：

$$h \approx l, \quad \sin \phi \approx \phi$$

此时得：

$$M = \frac{a^2 G_x \phi}{l}$$

式中： a —金屬綫与垂直摆动軸間距离；

l —金屬綫长度；

G_x —試件及底盤的总重量；

ϕ —摆角；

M —作用在試件上的轉矩（彈性力矩）。

整个扭摆系統的运动方程式为：

$$J_s \frac{d^2\phi}{dt^2} = -M = -\frac{a^2\phi G_s}{l},$$

式中： J_s —底盘及試件的总轉动慣量。

这一运动的摆动周期

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J_s l}{G_s a^2}}。$$

底盘及試件的总轉动慣量

$$J_s = \frac{T^2 G_s a^2}{4\pi^2 l}。$$

試件的轉动慣量

$$J = J_s - J_o = \frac{T^2 G_s a^2}{4\pi^2 l} - J_o。$$

底盘的轉动慣量 J_o 可在未按裝試件前利用同样的方法測定。

单独底盘摆动周期 T_o 。

$$T_o = 2\pi \sqrt{\frac{J_o l}{G_o a^2}}$$

底盘的轉动慣量 J_o 。

$$J_o = \frac{T_o^2 G_o a^2}{4\pi^2 l}$$

也可在盘底上先裝一已知轉动慣量为 J_1 的构件，这一組合摆动的周期 T_1 为：

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{(J_o + J_1)l}{G_o + G_1}}$$

或
$$J_0 = \frac{T_1^2 a^2 (G_0 + G_1)}{4\pi^2 l} - J_1$$

式中： J_0 —底盘对摆动轴的转动惯量。

J_1 —附加构件对摆动轴的转动惯量。

G_0 —底盘的重量。

G_1 —附加构件的重量。

(2) 三线悬挂法：某些不对称的另件由于构造上的原因难于对称地悬挂于双线摆上时，可采用叁线悬挂法(图6)

叁线悬挂法的原理和计算公式与双线悬挂法相同不另述。

4. 落重法：将被测构件搁置在轴承中，试验开始时，将绳一端绕于鼓轮上，另一端通过滑轮繫上合适的重量的重块 Q ，将 Q 提升到某一高度 h 然后松开制动器，使重物下落，驱使鼓轮迴转(图7)。由于在重物下落的过程中，绳内的张力保持不变，下落的过程应按等加速运动。

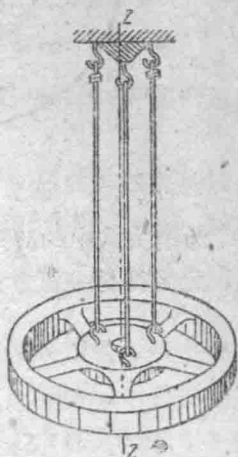


图6 叁线悬挂法测定构件的转动惯量

降落的加速度

$$a_1 = \frac{2h}{t_1^2} \quad \circ$$

绳中的张力

$$S_1 = Q_1 - \frac{Q_1}{g} a_1 \quad \circ$$

鼓轮的运动方程式

$$S_1 R - M_f = J \frac{a_1}{R} \quad ,$$

式中： M_f —轴承中的摩擦力矩。