

机械原理实验指导书

_____学院_____专业_____班

学号_____ 姓名_____

天津科技大学机械工程学院机械基础实验中心

目 录

实验一	机械原理认知实验	1
实验二	机构运动简图测绘实验	7
实验三	机构运动方案创新设计实验	12
实验四	渐开线齿轮范成原理实验	15
实验五	齿轮参数测定实验	19
实验六	刚性转子的动平衡实验	24

实验一 机械原理认知实验

本实验是为了加强对机械和机器的认识，配合《机械原理》等课程的讲授，设置了 8 个展柜，较全面地介绍了机械原理的一些基本知识。它实际上是一部直观的、活动的《机械原理》教材。同学们应通过此认知实验，对机械原理方面的知识有概略的了解。

各柜内容简介如下：

第一柜 简要介绍了三种机器及各种运动副

单缸气油机模型 它是把燃气的热能通过曲柄滑块机构转换成曲柄转动的机械能。为了增加输出功率和运转平稳性，采用了四组曲柄滑块机构配合工作。采用齿轮机构来控制各气缸的点火时间；采用凸轮机构来控制进气阀和排气阀的开与关。

蒸气机模型 它也采用了曲柄滑块机构将蒸气的热能转换为曲柄转动的机械能。采用连杆机构来控制进气和排气的方向，以实现倒顺车。

家用缝纫机 它采用了多种机构相互配合来实现缝纫目的。针的上下运动是由曲柄滑块机构来实现，提线动作是由圆柱凸轮机构来实现，送布运动是由几组凸轮机构相互配合来实现。

三部机器有一个共同特点：机器都是几个机构按照一定的运动要求互相配合组成的。

运动副 运动副是构件之间的活动联接。运动副是以其运动特征和它的外形来给予命名，如球面副、螺旋副、曲面副、移动副、转动副等。

第二柜 平面四杆机构

平面连杆机构是被广泛应用的机构之一，而基本的是四杆机构。根据含转动副的数目，将它分为三大类。

1. 铰链四杆机构（四个运动副均为转动副，它有三种运动型式。）

(1)**曲柄摇杆机构** 以最短杆相邻的杆作为机架，最短杆能相对机架回转 360° ，故为曲柄。曲柄作等速转动时，另一连架杆作变速摆动，称为摇杆。摇杆向右摆动慢，向左摆动快，这种现象称为“急回特征”。

(2)**双曲柄机构** 取最短杆为机架，与机架相联的两杆均为曲柄。当一个曲柄等速转动时，另一个曲柄在右半周内转动慢，在左半周内转动快。这种现象“急回特征”。

(3)**双摇杆机构** 以最短杆的相对杆作为机架，与机架相联的两杆均不能作整周回转只能来回摆动。

2. 带有一个移动副的四杆机构 它是以一个移动副代替铰链四杆机构中的一个转动副而演变得到的。（简称单移动副机构）

(1)**曲柄滑块机构**（以最短杆相邻杆的杆为机架）它是应用得最多的一种单移动副机构，可以将转动变为往复移动，或将往复移动转变为转动。曲柄匀速转动时，滑块的速度则是非匀速的。把这个机构倒置，可得到下面几种不同运动形式的单移动机构。

(2)**曲柄摇块机构** 它以兰色杆（最短杆的相邻杆）为机架，红杆为曲柄，黑杆绕固定点作摆动，也有急回特征。

(3)**转动导杆机构** 它以红杆（最短杆）为机架，其它两杆均为曲柄，黑杆的运动型式称为导杆。

(4)**移动导杆机构** 它以滑块为机架，此机构没有曲柄。

3. 带有二个移动副的四杆机构（简称双移动副机构）把它们倒置可得三种型的四连杆机构。

(1)**曲柄移动导杆机构**（正弦机构）黑色导杆作简谐移动，常用于仪器仪表中。

(2)**双滑块机构** 在机构连杆上的一点的轨迹是一个椭圆，所以叫画椭圆机构。机构上除滑块与连杆相联的两铰链和连杆中的轨迹为圆以外，其余所有点的轨迹均为椭圆。

(3)**双转块机构**（十字滑块机构）如以一转块作等速回转的原动件，则从动转块亦作等速回转，且转向相同。当两个平行传动轴间的距离很小时，可采用这种机构。此机构通常作为联轴器应用。

第三柜 机构运动简图及画法和平面连杆机构的应用

机构运动简图是工程上常用的一种图形，它用规定的符号和线条来清晰地、简明地表达出机构的运动情况。本柜共陈列了三个机器模型，应注意看懂工作原理和运动情况，以及机器由几个构件组成、是什么型的运动副。

平面连杆机构的应用：第一类应用是实现给定的运动规律，第二类是实现给定的轨迹。

实现给定的运动规律：（有 4 个示例）

飞剪 这里采用了曲柄摇杆机构。它利用连杆上一点的轨迹和摇杆上一点的轨迹相配合来完成剪切工作，使剪切区域内上下两个刀刃的运动在水平方向的分速度相等，且又等于钢板的运行速度。

压包机 冲头在完成一次压包冲程后在最上端位置有一段停歇时间，以便进行上下料工作。

铸造造型机翻转机构 它是一个双摇杆机构。当砂箱在震动台上造型振实后，利用机构的连杆将砂箱由下面经 180° 的翻转搬运到上面位置，然后取模，完成一次造型工艺。机构实现了两个给定的不同位置。

电影摄影升降机 这里采用了平行四边形机构。工作台设在连杆上，这就保证了工作台在升降过程中始终保持水平位置。

实现给定的轨迹：（有一个示例）

港口起重机 它是一个双摇杆机构。在连杆上的某一点有一段近似直线的轨迹，起重机的吊钩就是利用这一直线轨迹，使重物水平移动，避免不必要的升高重物而消耗功能。

第四柜 凸轮机构

凸轮机构常用于将主动构件的连续运动，转变为从动构件的往复运动。只要适当地设计凸轮廓线，便可以使从动件获得任意的运动规律。凸轮机构结构简单而紧凑，它广泛地应用于各种机械、仪器和操纵控制装置中。

凸轮机构的组成：

1. 凸轮 它有特定的廓线。

2. 从动件 它由凸轮廓线控制着按预期的运动规律作往复移动或摆动。常见的结构有尖端、滚子、平底和曲面四种形式。

3. 锁合装置 为了使凸轮与从动件在运动过程中，始终保持接触而采用的装置。常见的有力锁合，利用重力、弹簧力或其它外力使从动件与凸轮始终保持接触；结构锁合，利用凸轮和从动件的高副几何形状，使从动件与凸轮始终保持接触。

常见的平面凸轮机构：

盘形凸轮机构 外形好似一个盘形，结构简单、设计容易、制造方便、应用很广。

移动凸轮机构 凸轮作直线往复移动，可把它看成转轴在无穷远处的盘形凸轮，应用也很广。

槽凸轮机构 从动件端部嵌在凸轮的沟槽中保证从动件的运动。其锁合方式最简单，缺点是增大了凸轮机构的尺寸及不能采用平底从动件。

带有交叉曲线槽的槽凸轮 凸轮旋转两周，从动件完成一个运动循环。

等宽凸轮机构 凸轮的宽度始终等于平底从动件的宽度，凸轮与平底始终保持接触。

等径凸轮机构 在任何位置时从动件两滚子中心的距离之和等于一个定值。

主回凸轮机构 它是用两个固结在一起的盘状凸轮来控制一个从动件。主凸轮控制从动工作行程，回凸轮控制从动件的回程。

常见的空间凸轮机构：

一般根据它们的外型给予命名，有**球面凸轮**、**双曲面凸轮**、**圆锥体凸轮**、**圆柱凸轮**。如球面凸轮，这个凸轮是圆弧回转体，它的母线是一条圆弧，一般都取摆动从动件，从动件的摆动中心就是母线圆弧的中心。圆柱凸轮在设计和制造方面都比其它空间凸轮简单，应用的最多。空间凸轮机构的共同特点是，凸轮和从动件的运动平面不是互相平行的，当取移动从动件时，移动从动件沿凸轮机械母线方向运动。

第五节 齿轮机构

齿轮机构是一种常用的传动装置，它具有传动准确可靠，运转平稳，承载能力大，体积小，效率高等优点，在各种设备中被广泛地采用。根据主动轮与从动轮两轴的相对位置，可将齿轮传动分为平行轴传动，相交轴传动和交错轴传动三大类。

1. 传递两平行轴之间运动和动力的齿轮机构

外啮合直齿圆柱齿轮机构 它是齿轮机构中最简单最基本的一种类型，在学习上一般以它为研究重点，从中找出齿轮传动的基本规律，并以此为指导去研究其它类型的齿轮机构。

内啮合直齿圆柱齿轮机构 主、从动齿轮之间转向相同，在同样传动比情况下，所占空

间位置小。

齿轮齿条机构 主要用在将转动转变为直线移动或者将移动变为转动的场合。

斜齿圆柱齿轮机构 它的轮齿沿螺旋线方向排列在圆柱体上。螺旋线方向有左旋和右旋之分。斜齿圆柱齿轮的传动特点是传动平稳，承载能力高，噪音小。但轮齿倾斜会产生轴向力，使轴承受到附加的轴向推力。

人字圆柱齿轮机构 可将它看成具有左右两排对称形状的斜齿轮组成。因轮齿左右两侧完全对称，所以两个轴向力可互相抵消。人字齿轮传动常用于冶金、矿山等设备中的大功率传动。

2. 传递两相交轴之间运动和动力的齿轮机构

圆锥齿轮机构的轮齿分布在一个锥体上，两轴线的夹角 θ 可任意选择，一般常采用的是 90° 夹角。因轴线相交，两轴孔相对位置加工难达到高精度，而且一齿轮是悬臂安装，故圆锥齿轮的承载能力和工作速度都较圆柱齿轮低。

直齿圆锥齿轮机构 制造容易，应用广泛。

曲齿圆锥齿轮机构 它比直齿圆锥齿轮传动平稳，噪音小，承载能力大，可用于高速重载的传动。

3. 传递相错轴运动和动力的齿轮机构

螺旋齿轮机构 它由螺旋角不同的两个斜齿轮配对组成，理论上两齿面为点接触，所以轮齿易磨损、效率低。故不宜用在大功率和高速的传动。

螺旋齿轮齿条机构 它的特点与螺旋齿轮机构相似。

圆柱蜗杆蜗轮机构 两轴的夹角为 90° 。传动特点是传动平稳、噪音小、传动比大，一般单级传动比 $8\sim 100$ ，因而结构紧凑。

弧面蜗杆蜗轮机构 弧面蜗杆外形是圆弧回转体，蜗轮与蜗杆的接触齿数较多，降低了齿面的接触应力，其承载能力为普通圆柱蜗杆蜗轮传动的 $1.4\sim 4$ 倍。弧面蜗杆蜗轮机构制造复杂，装配条件要求较高。

第六节 齿轮机构参数

本节要注意观察渐开线和摆线的形成及重点了解渐开线齿轮基本参数的性质。

渐开线的形成：以一条直线沿一个圆周上作纯滚动时，直线上任一点 K 的轨迹，称为该圆的渐开线。这条直线称为发生线，这个圆称为基圆。请注意观察，发生线、基圆、渐开线三者的关系，从而可得到渐开线的一些性质。

- (1) 渐开线的形状取决于基圆大小；
- (2) 发生线是渐开线上点的法线，而且切于基圆；
- (3) 基圆内无渐开线；
- (4) 发生线沿基圆滚过的长度，等于基圆上被滚过的圆弧长度。

摆线的形成：一个圆在另一个固定的圆上滚动时，滚圆上任一点的轨迹就是摆线。滚圆称发生圆，固定圆称为基圆。它们有以下几种情况。

- (1) 动点在滚圆的圆周上时，所得的轨迹称为外摆线
- (2) 动点在滚圆的圆周内时，所得的轨迹称为短幅外摆线；
- (3) 动点在滚圆的圆周外时，所得的轨迹称为长幅外摆线；
- (4) 滚圆在基圆内滚动时，圆周上一点所画的轨迹称为内摆线。

渐开线标准齿轮的基本参数：

齿数 Z 在设计齿轮传动时，合理地选择齿数的问题，涉及的因素很多。在模数和压力角相同的情况下，齿数的多少对齿形有很大的影响。当齿数无穷多时，渐开线齿廓变成直线，齿轮变成齿条。当齿数少时，基圆小，齿廓曲线的曲率大。齿数少轮齿根部削弱，齿根高部分的渐开线减少。

模数 m 它等于两齿间的距离即周节 P 被 π 除，它是确定轮齿周向尺寸、径向尺寸、以及齿轮大小 的一个参数。同时也是齿轮强度计算的一个重要参数。模数已标准化系列。

分度圆压力角 α 渐开线齿廓上各点的压力角是不同的，愈接近基圆压力角愈小，渐开线在基圆的压力角为零。国家标准规定标准齿廓上分度圆的压力角为 20° 或 15° 等，常用的为 20° 。

齿顶高系数 h_a^* 和顶隙系数 c^* 。轮齿的高度在理论上受到齿顶厚度过小所限制，为此使齿高与齿厚之间建立一定的关系。齿厚是模数的函数，所以齿高也取为模数的函数。国家标准中规定有正常齿和短齿两种齿高制。这两个系数已标准化了，我国规定正常齿标准齿轮的标准化数值为： $h_a^* = 1$ ， $c^* = 0.25$ 。

第七柜 周转轮系

几对齿轮组成一个传动系统称为轮系。在轮系运转时，其中至少有一个齿轮轴线的位置并不固定，而是绕其他齿轮的固定轴线回转，则这种轮系称为周转轮系。它有两大类：差动轮系和行星轮系。

差动轮系 它有两个自由度 $F=2$ 。差动轮系可将一个运动分解为两个运动，也可将两个运动合成为一个运动。运动的合成在机械装置和自动调速装置中得到广泛应用。用差动轮系可得到加法机构，也可得到减法机构。实例：当需要将一个主动件的转动按所需比例分解为两个从动件的转动时，可采用差动轮系。如汽车后轮的差速传动装置，当汽车沿直线行驶时，左右两轮转速相等，当汽车转弯时，左轮转动慢，右轮转动快。

行星轮系 机构的自由度 $F=1$ 。当一轮系运转时，若一个或几个齿轮绕固定轴线回转，称为太阳轮，某一齿轮一方面绕自己的轴线作自转，另一方面又随着转臂 H 一起绕固定轴线作公转，就像行星的运动一样，这一齿轮称为行星轮。这种轮系称之为行星轮系。若把这个轮系中的转臂 H 固定不动，这时周转轮系就变为定轴轮系。本柜有一全部由外啮合齿轮组成的行星轮系，这一行星轮系齿数差为 4，传动比为 10。当每一对啮合齿轮采用少齿差时，可获得很大的传动比。如当每对齿轮齿数相差 2 时，传动比为 2500，齿数差相差 1 时，可得到传动比为 10000，这种结构的行星轮系，每对齿轮齿数相差愈小，传动比就愈大，传动效率就愈低。

简介一下**旋轮线**，在周转轮系中行星轮上某点的运动轨迹称为旋轮线。这里看到的内啮

合行星轮系中，当行星轮的半径与齿轮半径之比值取不同数值时，可得到不同形状和性质的旋轮线。

简介一下三种减速器的特点：

行星减速器 它适合传递功率，结构紧凑，效率也不低，其一级传动比为 1.2~12，柜中这个行星轮系的传动比为 7。

谐波齿轮减速器 最大的特点它有一个柔轮，柔轮是一个弹生元件。利用它的变形来实现传动。其传动比的计算与周转轮系相似，它的特点是，传动比大，元件少，体积小，同时啮合的齿数多，在相同条件下比一般齿轮减速器的元件上少一半，体积和重量可减少 30~50%。

摆线针轮行星齿轮减速器 体积小，重量轻，承载能力大，效率高，工作平稳。

第八柜 停歇和间歇运动机构

在机械中，常需要某些构件产生周期性的运动和停歇，这种运动的机构称为停歇和间歇运动机构。

1. 间歇运动机构

(1)**棘轮机构** 结构简单，制造方便，应用较广。棘轮机构常见的有齿式和摩擦式。①**齿式棘轮机构**运动可靠，棘轮运动角只能作有级调整，回程时棘爪在齿面上滑行，引起噪声和齿尖磨损。所以一般只能用低速和传动精度要求不高的情况下。②**摩擦式棘轮机构** 棘轮运动角可作无级调整。因摩擦传动，棘爪与轮接触过程无噪声，传动平稳，但很难避免打滑，因此运动的准确性较差，常用于超越离合器。

(2)**槽轮机构** 它也有结构简单，制造容易，工作可靠和机械效率高等优点。但槽轮机构在工作时有冲击，随着转速的增加及槽轮数的减少而加剧，不宜用高速场合，适用范围受到一定的限制。①**外啮合槽轮机构**是用的最多最广的。②**内啮合槽轮机构** 常用于槽轮停歇时间短，传动较平稳，减少机构空间尺寸和要求槽轮机构主、从方向相同的场合。外、内啮合槽轮都是传递平行轴之间的间歇运动。③**球面槽轮机构** 槽轮做成半球形，传递相交轴之间的间歇运动。

(3)**齿轮式间歇运动机构** 各种不同的齿轮式间歇运动机构，都是由齿轮机构演变而成的，它的外形特点是轮齿不满布于整个圆周上。

(4)**摆线针轮不完全齿轮机构** 它的轮齿也不满布于整个圆周上，不论那种齿轮式间歇运动机构，其特点是运动时间与停歇时间之比不受机构结构的限制，工位可任意配置。从动轮在进入啮合和脱离时有速度突变，冲击较大。一般适用于低速轻载的工作条件。

2. 停歇运动机构

(1)**具有停歇运动的曲柄连杆机构** 它是利用连杆上某点所描绘的一段圆弧轨迹，然后将

从动的另一连杆与此点相连，取其长度等于圆弧的半径，这样当每一循环到此段圆弧时从动滑块停歇。

(2)具有停歇运动的导杆机构 在它的导杆槽中的某一部分用圆弧做成，其圆弧半径等于曲柄的长度，这样机构在左边极限位置时具有停歇特性。

实验二 机构运动简图测绘实验

一、实验目的

1. 根据实际机械或模型的结构，学习测绘机构运动简图的方法、步骤、基本技能。
2. 通过训练测绘进一步理解机构的组成、机构自由度的意义，及如何计算机构自由度。
3. 通过实验进一步了解机构运动简图与实际机构的区别。

二、实验设备

1. 各种机构模型或机械实物。
2. 绘图工具 铅笔、橡皮、纸张（自备）、卷尺、直尺等。

三、实验方法

机构运动简图只与机构原动件的运动规律、机构中的构件数目、运动副的类型、数目及各运动副的相对位置（即与运动有关的尺寸）有关，而与构件的实际外形、运动副的具体结构无关。因此，绘制反映机构运动特性的机构简图时，可以撇开机构复杂的外形和运动副的具体构造，而用简单的线条和规定的符号表示构件和运动副，并按一定的比例确定运动副相对位置，从而绘制出机构运动简图。具体步骤：

1. 观察：

(1) 用手缓慢转动（拨动）被测绘的机构模型或机械实物，从原动件开始仔细观察其运动情况，找出并分析哪些是固定件，哪些是活动构件，确定构件的数目。

(2) 观察并分清各运动单元及运动单元之间的相对关系和相对位置，判断和确定机构运动副的数目和类型。

2. 测绘：

(1) 选择能清楚表达多数构件运动特性的平面作为投影面，注意各运动单元应处于一般的位置上。

(2) 测量各构件上与运动有关的尺寸，如两转动副的中心距离，移动副的相对位置尺寸等。

(3) 选择适当的比例尺，或在只需了解机械运动特征而不进行定量分析时，可不一定按准确比例绘制简图，但应目测相关尺寸，按近似比例绘出大致相对位置即可。

$$\text{长度比例尺}\mu_l = \frac{\text{构件的实际长度 (m)}}{\text{简图上所画的构件长度 (mm)}}$$

(4) 徒手在稿纸上按规定的符号和构件的联系顺序依次画出机构运动简图。

(5) 计算机构自由度，并验算测绘结果是否正确。

机构自由度 F

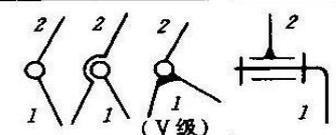
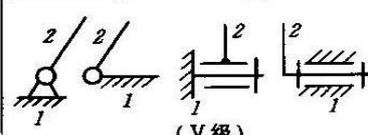
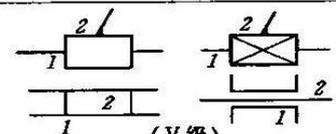
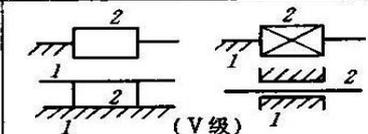
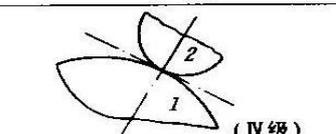
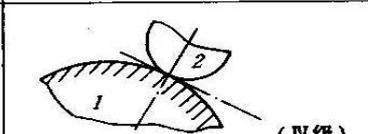
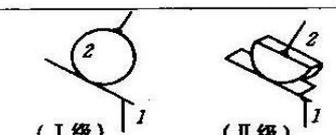
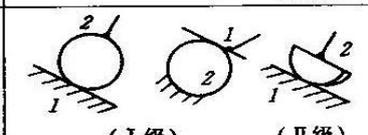
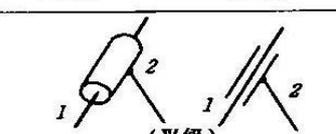
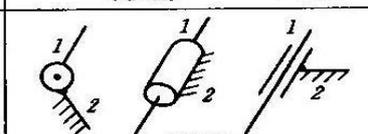
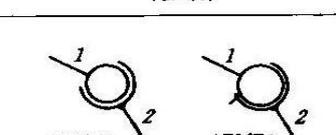
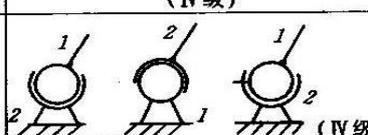
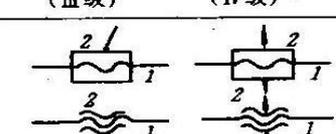
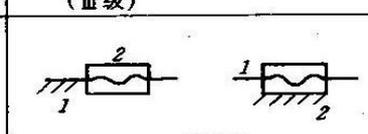
$$F = 3n - 3P_1 - P_h$$

式中： n —活动构件数； P_1 —低副数； P_h —高副数。

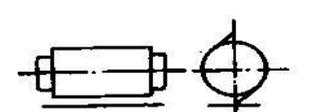
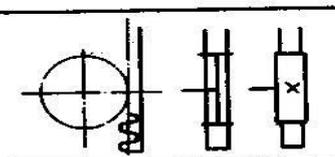
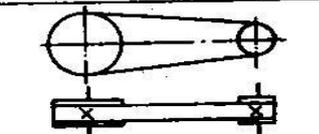
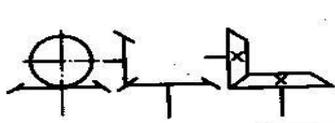
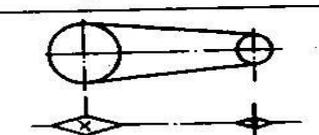
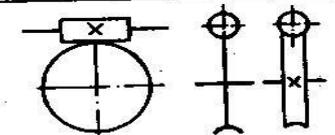
四、实验要求

参经常用运动副的符号、常用机构运动简图符号、一般构件的表示方法，每个同学自选测绘四个机构运动简图。

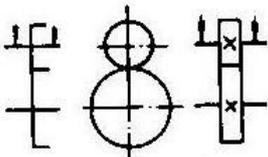
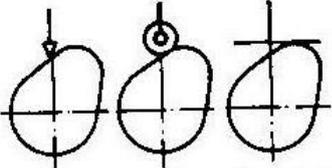
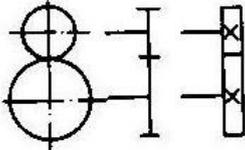
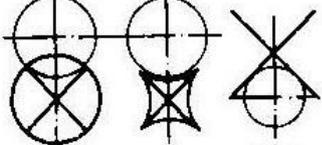
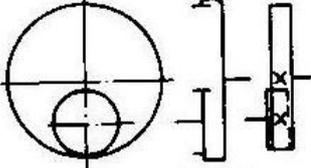
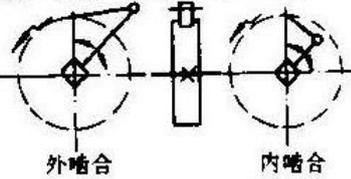
常用运动副的符号

运动副名称	运动副符号	
	两运动构件构成的运动副	两构件之一为固定时的运动副
转动副		
平面运动副		
平面高副		
点接触高副与线		
空间运动副		
球面副及球销副		
螺旋副		

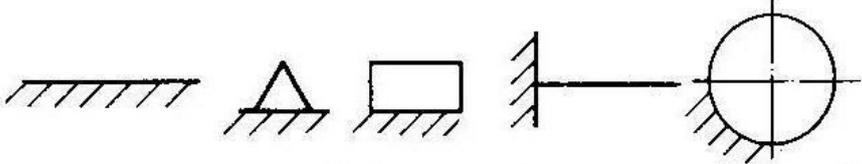
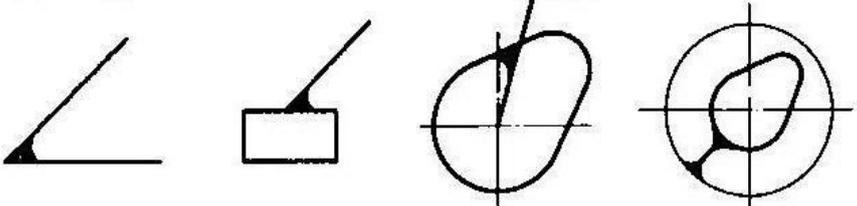
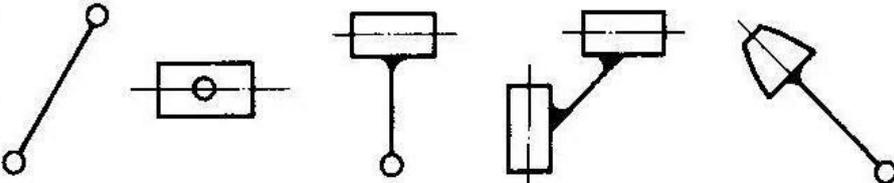
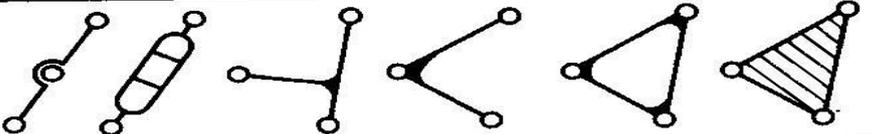
常用机构简图的符号 (1)

电机 在支架上		条传动 齿轮	
带传动		圆锥 轮传动	
链传动		圆柱 杆传动	

常用机构简图的符号 (2)

<p>摩擦轮传动</p> 	<p>凸轮传动</p> 
<p>外啮合圆柱齿轮传动</p> 	<p>槽轮机构</p>  <p>外啮合 内啮合</p>
<p>内啮合圆柱齿轮传动</p> 	<p>棘轮机构</p>  <p>外啮合 内啮合</p>

一般构件的表示方法

<p>杆、轴类构件</p>	
<p>固定构件</p>	
<p>同一构件</p>	
<p>两副构件</p>	
<p>三副构件</p>	

实验三 机构运动方案创新设计实验

一. 实验目的

1. 加深学生对机构组成原理的认识，熟悉杆组概念，为机构创新设计奠定良好的基础。
2. 利用若干不同的杆组，拼接不同的平面机构，以培养学生机构运动创新设计意识及综合设计的能力。
3. 培养学生的工程实践动手能力。

二. 实验设备和工具

JYCS-I 型机构运动方案创新设计实验台和构件、零件、钢板尺、卷尺、扳手等，学生自备圆规、铅笔等文具。

1. 实验仪器的特点

可以在实验台上无级地调整主、从动构件固定铰链的位置和固定导路的位置； 构件和机架都是组合式的，可以方便地进行组装和拆卸； 能够组装、连接各种类型的平面机构并使其运动。

2. 实验台机架

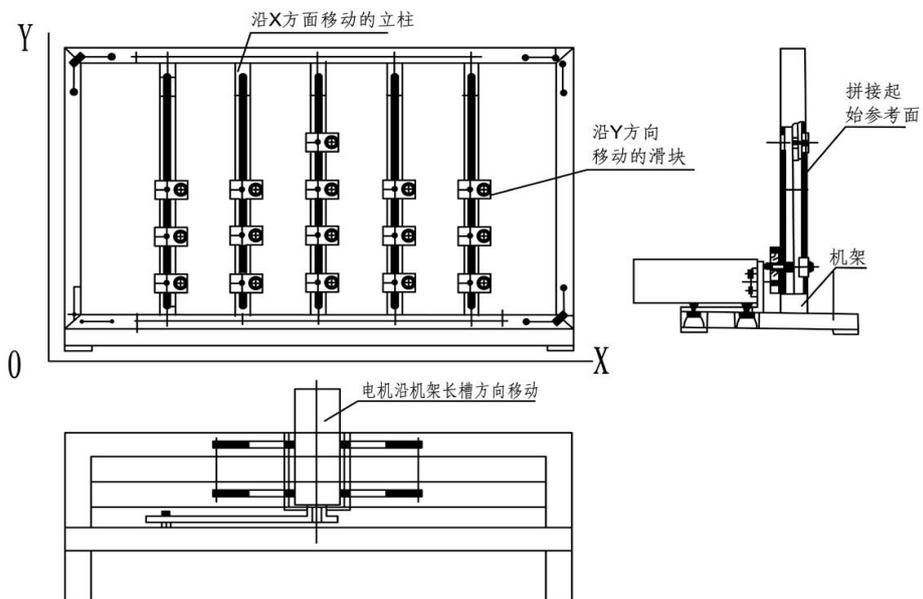


图1 实验台机架图

实验台机架中有 5 根铅垂立柱，它们可沿 X 方向移动。移动时请用双手推动并尽可能使立柱在移动过程中保持铅垂状态。立柱移动到预定的位置后，将立柱上、下两端的螺栓锁紧（安全注意事项：不允许将立柱上、下两端的螺栓卸下，在移动立柱前只需将螺栓拧松即可）。立柱上的滑块可沿 Y 方向移动。将滑块移动到预定的位置后，用螺栓将滑块紧定在立柱上。按上述方法即可在 X、Y 平面内确定活动构件相对机架的连接位置。面对操作者的机架铅垂

面称为拼接起始参考面。

3. 组装机构的零件

组装机构的零件有凸轮、高副锁紧弹簧、齿轮、齿条、槽轮拨盘、槽轮、主动轴、转动副轴（或滑块）、扁头轴、主动滑块差件、连杆（或滑块导向杆）、转动副轴（或滑块）、带垫片螺栓、运动构件层面限位套、皮带轮等等，具体可参看“机构运动方案创新设计实验台组件清单”中的说明。

电机有直线电机和旋转电机：

(1) 直线电机及行程开关：（10mm/s）

两行程开关的最大安装间距限制在 300mm 范围内。

(2) 旋转电机：（10 转/min）

旋转电机安装在实验台机架底部，并可沿机架底部的长形槽移动电机。电机上连有~220V、50HZ 的电源线及插头，连线上串接有连线盒及电源开关。

三. 实验预习

预习机构组成原理，杆组概念以及机构的结构分析，详尽了解机构创新设计实验台、构件、零件及各种运动副的拼接，请参考“机构运动方案创新设计实验台组件清单”资料附件。

四. 实验步骤

1. 选择构件，拼接基本杆组，注意转动副及移动副的拼接方法。

2. 将基本杆组依次连接并固定于机架上，机架的位置通过调节实验台上铅垂立柱和滑块的位置确定。在拼接时注意**各构件必须通过限位套装配在不同层面**，以防止构件在运动中相互干涉。

3. 整个机构组装完毕，打开电机，认真观察运动情况。测量各构件的运动尺寸，以一定的比例尺将机构运动简图绘制在实验报告上。

五. 实验报告：

要求：至少拼接1到2种机构，绘制机构运动简图，计算机构自由度并进行机构结构的分析；书写学习体会及建议。

机构运动方案创新设计实验报告

班级_____姓名_____实验日期_____审阅_____

一、创新机构运动简图绘制及结构分析

机构名称:
机构运动简图及结构分析:
四杆机构名称:
组装任一四杆机构，分析其极位、极位夹角、压力角、传动角，最小传动角并指出死点的位置。

实验四 渐开线齿轮范成原理实验

一. 实验目的

1. 掌握范成法切制渐开线齿轮的原理。
2. 观察齿轮加工时的根切现象，分析渐开线齿轮产生根切的原因，掌握避免根切的方法。
3. 分析比较标准齿轮和变位齿轮的异同点。

二. 仪器和用具

1. 渐开线齿轮范成仪；
2. 齿轮毛坯（圆形纸）；
3. 圆规、直尺、铅笔（自备）。

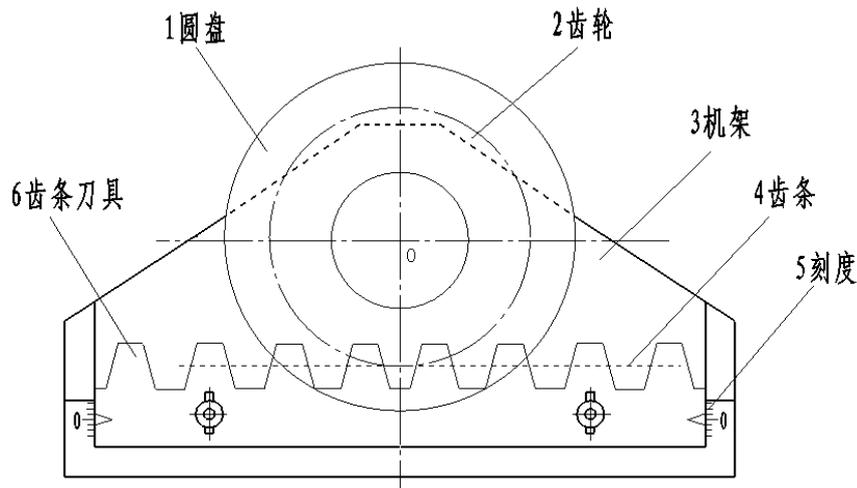
三. 齿轮范成仪的构造

范成仪是利用共轭齿廓互为包络线的原理加工齿轮的一种方法，范成仪可以真实地再现齿轮范成加工的全过程。

范成仪的构造如下图所示：圆盘 1 绕固定轴心 O 转动，圆盘背后装有与之固联的齿轮 2，并与固定在横动拖板上的齿条 4 啮合。横动拖板上装有齿条刀具 6，可在机架 3 上横向移动。由于齿轮 2 与齿条 4 的啮合关系，从而使圆盘 1 相对齿条刀具 6 的运动和被加工齿轮与齿条刀具的运动完全一样。根据横动拖板两侧的刻度 5，可调节齿条刀具中线与被加工齿轮的分度圆的相对位置。齿条刀具中线与被加工齿轮的分度圆相切，加工出来地是标准齿轮；反之加工的是变位齿轮。

实验模拟加工齿轮的两套参数分别是：

- (1) 齿数 $Z=10$ 模数 $m=15$ 压力角 $\alpha=20^\circ$ 齿顶高系数 $h_a^*=1$ 顶隙系数 $c^*=0.25$
- (2) 齿数 $Z=8$ 模数 $m=20$ 压力角 $\alpha=20^\circ$ 齿顶高系数 $h_a^*=1$ 顶隙系数 $c^*=0.25$



四. 实验原理

运用一对齿轮在啮合时其共轭齿廓互为包络的原理加工齿轮的方法称为范成法。加工时其中一个轮为刀具，另一个为轮坯，由机床的传动系统保证刀具与轮坯以固定的角速比相对转动，和一对真正齿轮相互啮合传动一样，同时刀具还沿轮坯的轴向作切削运动。这样加工出来的齿轮齿廓就是刀具刀刃在各个位置的包络线。渐开线作为刀具齿廓，则其包络线必亦为渐开线。但是实际加工时无法看到刀刃在各个位置形成包络线的过程，故通过齿轮范

成仪来复演这一刀具与轮坯间的传动过程。实验时通过用铅笔将刀具刀刃在切削时曾占据的各个位置记录在绘图纸（纸毛坯）上，这样我们就能清楚地观察到用范成法加工渐开线齿轮的过程。

五. 实验步骤

1. 绘制标准齿轮

(1) 根据齿条刀具的参数和被加工齿轮的齿数 ($Z=10$)，计算出该齿轮的齿顶圆半径 r_a ，分度圆半径 r ，基圆半径 r_b ，齿根圆半径 r_f 。

$$r_a = m\left(\frac{Z}{2} + h_a^*\right) = \quad r = \frac{mZ}{2} = \quad r_b = r \cos \alpha =$$

$$r_f = m\left(\frac{Z}{2} - h_a^* - c^*\right) =$$

(2) 将绘图纸（纸毛坯）装在范成仪的圆盘上，并用压环压紧，然后以轴心为圆心，将根据已知的基本参数计算出来的被加工齿轮的齿顶圆、分度圆、基圆、齿根圆尺寸画在纸毛坯上。

(3) 调节刀具中线使其和分度圆相切，亦即使齿条刀具两端标记对准刻度的零点，然后用齿条刀具固定螺栓拧紧。

(4) 将齿条刀具移到最左端（或最右端）极限位置，用铅笔描齿条刀的外廓线，凡进入纸毛坯的齿条刀部分，且经铅笔描绘后即表示被加工齿轮该部分被切掉。

(5) 慢慢移动齿条刀具，每移动一次描绘一遍刀具的齿形。如连续地画下去代表刀具连续的插齿过程，最终这些稠密的齿形就显示了自己的包络线，即被切齿轮的齿廓曲线，直至将齿条刀具移到最右端（或最左端）极限位置。要求在纸毛坯上描绘出 2~3 个完整的齿形。通过观察，将会发现齿形根切很严重。

2. 绘制正变位齿轮

(1) 计算不产生根切的最小移距系数 $X_{\min} = \frac{17-Z}{17}$ ，数据取整后，第一套范成仪模拟加工变位齿轮时取 $X=X_{\min}=0.5$ 。第二套范成仪模拟加工变位齿轮时取 $X=X_{\min}=0.6$ 。

(2) 根据齿条刀具的参数和被加工齿轮的齿数 ($Z=10$)，计算出该齿轮的齿顶圆半径 r_a' ，齿根圆半径 r_f' ，且画在范成仪的纸毛坯上。

$$r_a' = m\left(\frac{Z}{2} + h_a^* + X\right) =$$

(3) 松开齿条刀具固定螺栓，将范成仪上齿条刀具 6 和齿条 3 取下，转动圆盘 180° ，然后再装上齿条刀具 6 和齿条 3。

(4) 绘制变位齿轮对刀时，将齿条刀具平行退后（远离盘轮中心）一段距离 Xm （变位移距）。重新拧紧齿条刀具。此后，按照绘制标准齿轮的方式绘制变位齿轮。

六. 实验要求

(1) 在绘图纸（纸毛坯）上按机械制图的方式标出齿顶圆、分度圆、基圆、齿根圆的尺寸。

(2) 在绘图纸（纸毛坯）的空白处写上被加工齿轮的主要参数 Z, m, α, h_a^*, c^* 及 X 。

(3) 在绘图纸（纸毛坯）的空白处写上填写班级、姓名、实验日期。

齿轮范成实验报告

班级_____ 姓名_____ 实验日期_____ 审阅_____

1. 齿轮基本参数：模数 $m =$ 齿数 $Z =$ 压力角 $\alpha =$ 齿顶高系数 $h_a^* =$ 顶隙系数 $c^* =$
2. 实验结果比较（ $x > 0$ 的变位齿轮和标准齿轮参数比较）

项目	标准齿轮	变位齿轮	正变位齿轮相对标准齿轮
变位系数			
齿顶圆直径			
分度圆直径			
基圆直径			
齿根圆直径			
模数			
压力角			
分度圆齿厚			
分度圆齿间距			
分度圆齿距			
全齿高			
齿顶高			
齿根高			

3. 齿轮范成图（附图）
4. 学习体会

实验五 齿轮参数测定实验

一. 实验目的

1. 掌握测量公法线长度法，使用游标卡尺测定渐开线直齿圆柱齿轮基本参数。
2. 巩固并熟悉齿轮各部分尺寸与主要参数(m)之间的关系。

二. 设备和工具

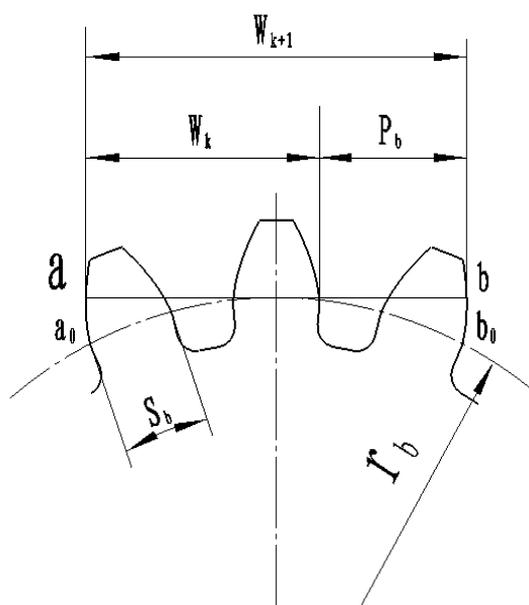
1. 测绘用直齿圆柱齿轮两个（标准和变位直齿圆柱齿轮各一个）。
2. 0—150mm 游标卡尺（精度 0.02mm）。

三. 实验原理和方法

1. 标准直齿圆柱齿轮的测量

标准直齿圆柱齿轮的基本参数是，齿数 Z 、模数 m 、分度圆压力角 α 、齿顶高系数 h_a^* 、齿顶间隙系数 C^* ，在基本参数确定以后，齿轮上其他参数便可求出。本实验对齿轮的基本参数进行测量时，齿数 Z 可以直接数出。模数 m 利用齿轮公法线概念来确定。亦即用游标卡尺跨 K 个齿（跨齿数 $K=0.111Z+0.5$ ），并圆整为整数，测得齿廓间的公法线长度 W_K ，然后再跨过 $K+1$ 个齿，测得公法线长度 W_{K+1} 。分度圆压力角我国有两种： $\alpha=20^\circ$ 和 $\alpha=15^\circ$ 。可将这两个值代入求解模数 m 的公式中试算确定之。为了保证卡尺测得的公法线与齿廓在分度圆附近相切， K 值可根据被测齿轮的齿数 Z 参照下表来确定。

Z	12 ~	19 ~	28 ~	37 ~	46 ~	55 ~	64 ~	73 ~
	18	27	36	45	54	63	72	81
K	2	3	4	5	6	7	8	9



由渐开线的性质可知，齿廓间的公法线 ab 与所对应的圆弧 a_0b_0 长度相等。

因此
$$W_K = (K-1)P_b + S_b \quad (1)$$

所以
$$W_{K+1} = KP_b + S_b \quad (2)$$

所以

$$P_b = W_{K+1} - W_K \quad (3)$$

根据求得的基圆周节 P_b 可按下式算出模数 $m = \frac{P_b}{\pi \cos \alpha}$ (4)

由于式中 α 可能是 15° 也可能是 20° , 故分别代入式中, 可得出两个 m 值, 选其中数值最接近标准模数的值作为所测齿轮的模数 m , 由此对应的 α 值也随之被确定。在齿数为偶数时, 可直接用卡尺测量齿顶圆直径 d_0 、齿根圆直径 d_f 。齿数为若为奇数时, 同学们想一想应该如何测得。

齿顶高系数 $h_a^* = \frac{h_a}{m}$ (5)

式中齿顶高 $h_a = \frac{d_a - d}{2}$ (6)

齿顶间隙系数 $c^* = \frac{h_f}{m} - h_a^*$ (7)

式中齿根高 $h_f = \frac{d - d_f}{2}$ (8)

2. 变位齿轮的测量

对于直齿圆柱变位齿轮来讲, 测量齿顶圆直径 d_a 、齿根圆直径 d_f 、齿廓间的公法线长度 W_K 和 W_{K+1} 值, 与测量标准直齿圆柱齿轮的方法相同。同理, 亦用与标准直齿圆柱齿轮同样的方法选取模数 m 、压力角 α 和其他参数。所不同的是需通过公法长度法得到基圆齿厚 S_b , 进而确定变位系数 X 。

由 (2) 式得

$$S_b = W_{K+1} - KP_b \quad (9)$$

将 (3) 代入 (9) 得

$$S_b = KW_K - (K-1)W_{K+1} \quad (10)$$

由正变位基圆齿厚公式

$$S_b = S \cos \alpha + mZ \cos \alpha \operatorname{inv} \alpha = \left(\frac{\pi}{2} + 2X \operatorname{tg} \alpha \right) m \cos \alpha + mZ \cos \operatorname{inv} \alpha \quad (11)$$

式中 S 为正变位分度圆齿厚

$$S = m \left(\frac{\pi}{2} + 2X \operatorname{tg} \alpha \right) \quad (12)$$

故可得变位系数

$$X = \frac{\frac{\pi S_b}{P_b} - \frac{\pi}{2} - Z \operatorname{inv} \alpha}{2 \operatorname{tg} \alpha} \quad (13)$$

四. 实验步骤

1. 直接计数齿轮的齿数。

2. 测量齿顶圆直径 d_a 、齿根圆直径 d_f 、公法线长度 W_k 和 W_{k+1} ，对每一个尺寸应测量三次，取其平均值作为测量数据。

3. 利用公式计算求出 P_b 、 m 、 α 、 h_a^* 、 C^* 、 h_a 、 h_f 及 S_b 、 X 。

五. 实验报告格式

将被测直齿圆柱齿轮的计数值、测量值、计算值、选取值填入下列表格。

齿轮参数测定实验报告

班级_____ 姓名_____ 实验日期_____ 审阅_____

一、标准直齿圆柱齿轮及变位直齿圆柱齿轮测量

1. 标准直齿圆柱齿轮测量

- (1) 实验用标准直齿圆柱齿轮的齿数 $Z =$
- (2) 测量值

表一：公法线测量结果：

单位：mm

次 数 项目	第一次 测量	第二次 测量	第三次 测量	平均值
W_K				
W_{K+1}				

表二：齿顶圆、齿根圆测量结果：

单位：mm

次 数 项目	第一次 测量	第二次 测量	第三次 测量	平均值
d_a				
d_f				

(3) 计算值

P_b	$\alpha = 15^\circ$ 时 m 值	$\alpha = 20^\circ$ 时 m 值	选 m	选 α	d	d _a	d _f	h _a [*]	C [*]

2. 变位直齿圆柱齿轮测量

- (1) 实验用变位直齿圆柱齿轮的齿数 $Z =$
- (2) 测量值

表一：公法线测量结果：

单位：mm

次 数 项目	第一次 测量	第二次 测量	第三次 测量	平均值
W_K				
W_{K+1}				

表二：齿顶圆、齿根圆测量结果：

单位：mm

次 数 项目	第一次 测量	第二次 测量	第三次 测量	平均值
d_a				
d_f				

(3)计算值

P_b	$\alpha = 15^\circ$ 时 m 值	$\alpha = 20^\circ$ 时 m 值	选 m	选 α	d	d_a	d_f	S_b	X

二. 学习体会和建议

实验六 刚性转子的动平衡实验

一. 实验目的

1. 观察轴向尺寸较大的转子($b/D \geq 0.2$), 在转子运转的情况下显现的动不平衡现象。
2. 学习借助于动平衡试验设备, 用实验方法来确定出刚性转子不平衡量的大小和方位, 然后利用增加平衡质量的方法予以平衡。

二. 实验设备及附件

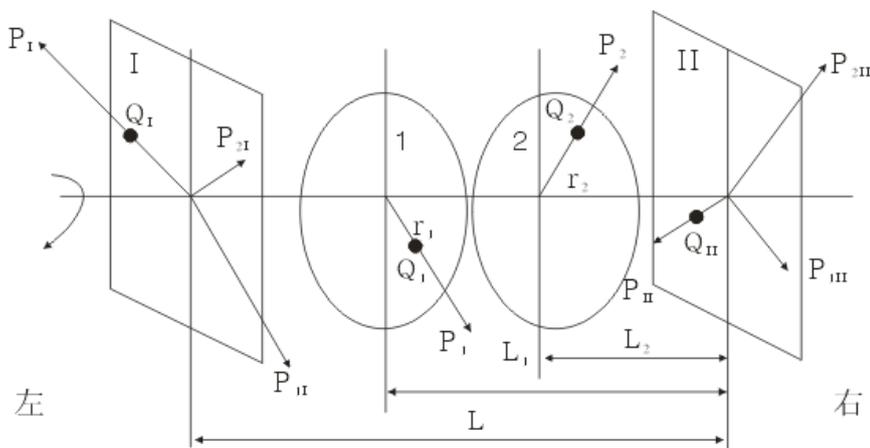
1. DPH—I 智能动平衡试验机
2. 0~150mm 游标卡尺、0~150mm 钢板尺。
3. 润滑油及注油器具。

三. 实验原理

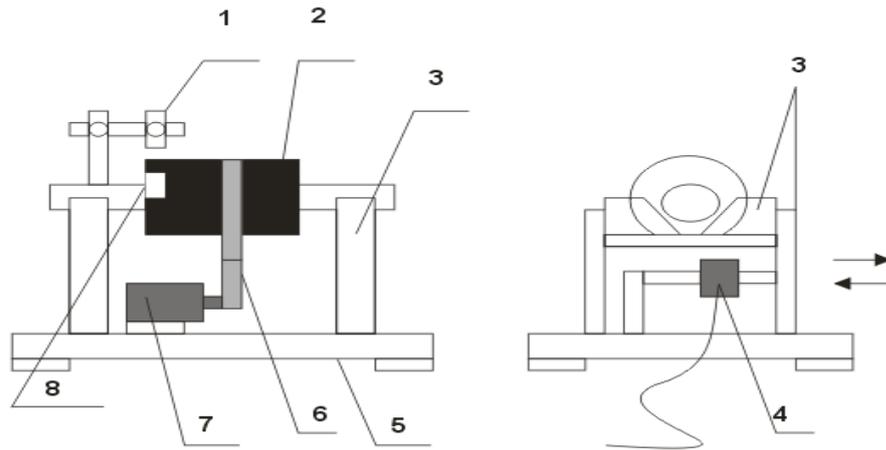
轴向尺寸较大的转子($b/D \geq 0.2$), 如内燃机曲轴、电机转子和机床主轴等, 其偏心质量往往分布在若干个不同的回转平面内。在这种情况下, 即使转子的质心在回转轴线上, 由于各偏心质量所产生离心惯心力不在同一回转平面内, 因而将形成惯性力偶。这一力偶的作用方位是随转子的回转而变化的, 故不但会在支承中引起附加动压力, 也会引起机械设备的振动。这种不平衡现象, 单就转子的静止状态是显示不出来的, 只有在转子运转的情况下才能显示出来。对这类转子进行平衡, 要求转子在运转时其各偏心质量产生的惯性力和惯性力偶矩同时得以平衡。故转子的动平衡的条件是: 各偏心质量(包括平衡质量)产生的惯性的矢量和为零, 以及这些惯性力所构成的力偶矩矢量和为零, 即

$$\sum p = 0 \quad \sum M = 0$$

经过平衡计算在理论上已经平衡的转子, 由于制造和装配的不精确, 材质的不均匀等原因, 仍会产生新的不平衡。这时已无法用计算来进行平衡, 而只能借助于平衡实验的方法确定不平衡量的大小和方位。在实际操作中, 刚性转子无论具有多少个偏心质量, 以及分布多少个回转平面内, 都只要在选定的两平衡基面内分别各加上或除去一适当的平衡质量, 即可得到完全平衡。一般的做法是, 选取平衡基面需要考虑转子的结构和安装空间, 以便于安装或除去平衡质量, 还要考虑力矩平衡的效果, 两平衡基面间的距离应适当大一些。常选择转子的两端面作为平衡基面。



四. DPH—I 型智能动平衡机简介



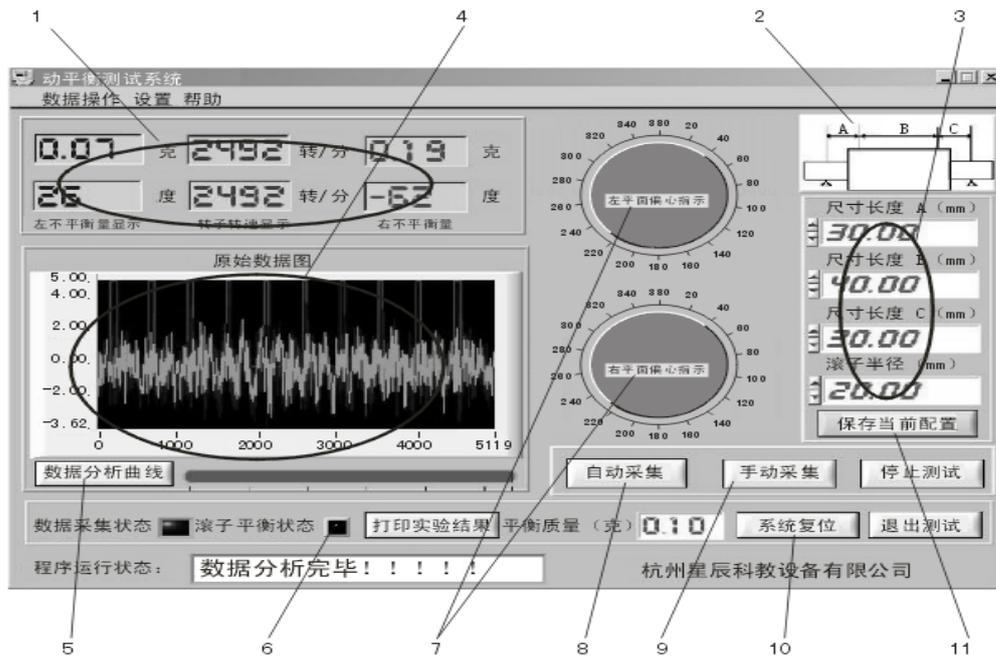
1 光电传感器 2 被测转子 3 硬支撑摆架组件 4 压力传感器
5 减振底座 6 传动带 7 电动机 8 零位标志

1. 主要特点

DPH-I 型动平衡机是一种基于虚拟测试技术的智能化动平衡系统，利用高精度的压电晶体传感器进行测量，采用计算机虚拟技术、数字信号技术和小信号提取方法，实施智能化检测。通过人机对话的方式，完成动平衡检测实验。由计算机、数据采集器、高灵敏有源压电传感器和光电相位传感器等组成。当被测转子在部件上被拖动旋转后，由于转子的中心惯性主轴与旋转轴线存在偏移而产生不平衡离心力，迫使支承做强迫震动，安装在左右两个硬支撑机架上的两个有源压电传感器感受此力而发生机电换能，产生两路包含有不平衡信息的电信号输出到数据采集装置的两个信号输入端；与此同时，安装在转子上方的光电相位传感器产生与转子旋转同频同相的参考信号，通过数据采集器输入到计算机。计算机通过采集器采集此三路信号（一条方波曲线、两条振动曲线），由虚拟仪器前置处理，跟踪滤波、幅度调整、相关处理、FFT 变换、校正面之间的分离解算、最小二乘加权处理等。最终算出左右两面的不平衡量（克）、校正角（度）以及实测转速（转/分）。

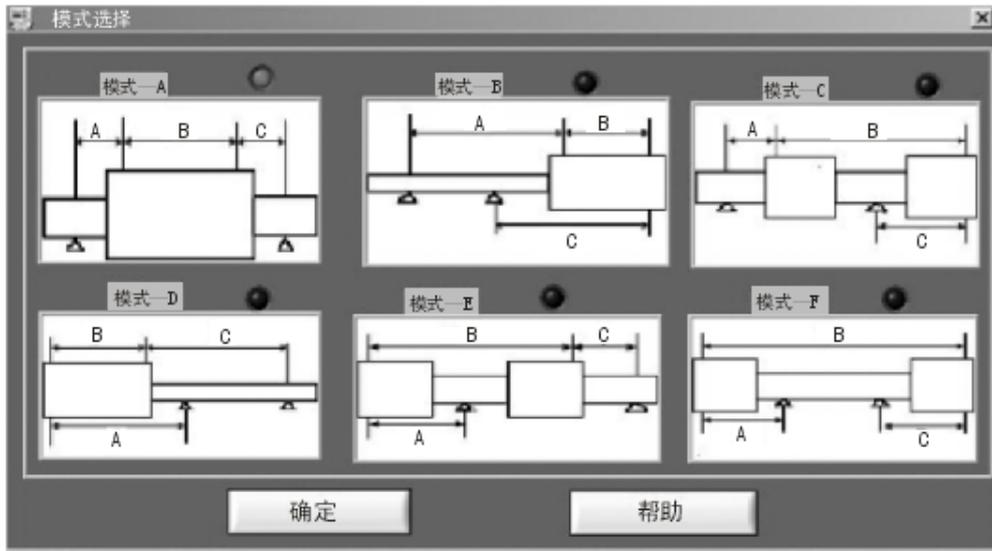
2. 应用软件 可找到刚性转子的偏心位置及偏心量的大小。

●系统主界面



- (1) 测试结果显示区 有左右不平衡量显示、转子转速显示、不平衡方位显示。
- (2) 转子结构显示区 可通过双击当前显示的转子结构图，选择实验的转子结构。
- (3) 转子参数输入区 输入值均是以毫米为单位。
- (4) 原始数据显示区 用来显示当前采集的数据或调入的数据曲线，根据转子偏心的大小，在该曲线上可以看出周期性机械振动的大概情况。
- (5) 数据分析曲线显示按钮 启动按钮可进入曲线显示窗口。
- (6) 指示检测后的转子的状态 灰色为没有达平衡，红色为已经达到平衡状态。平衡状态的标准通过“允许不平衡质量”栏，由实验者自行设定。
- (7) 左右两面不平衡量角度指示图 指针指示的方位为偏重位置角度。
- (8) 自动采集按钮 为连续动态采集采集方式，直到停止按钮按为止。
- (9) 单次采集按钮
- (10) 复位按钮 清除数据及曲线，重新进行测试。
- (11) 工作几何尺保存按钮开关 点击该开关可以保存设置数据（重新开机数据不变）

● 模式设置界面



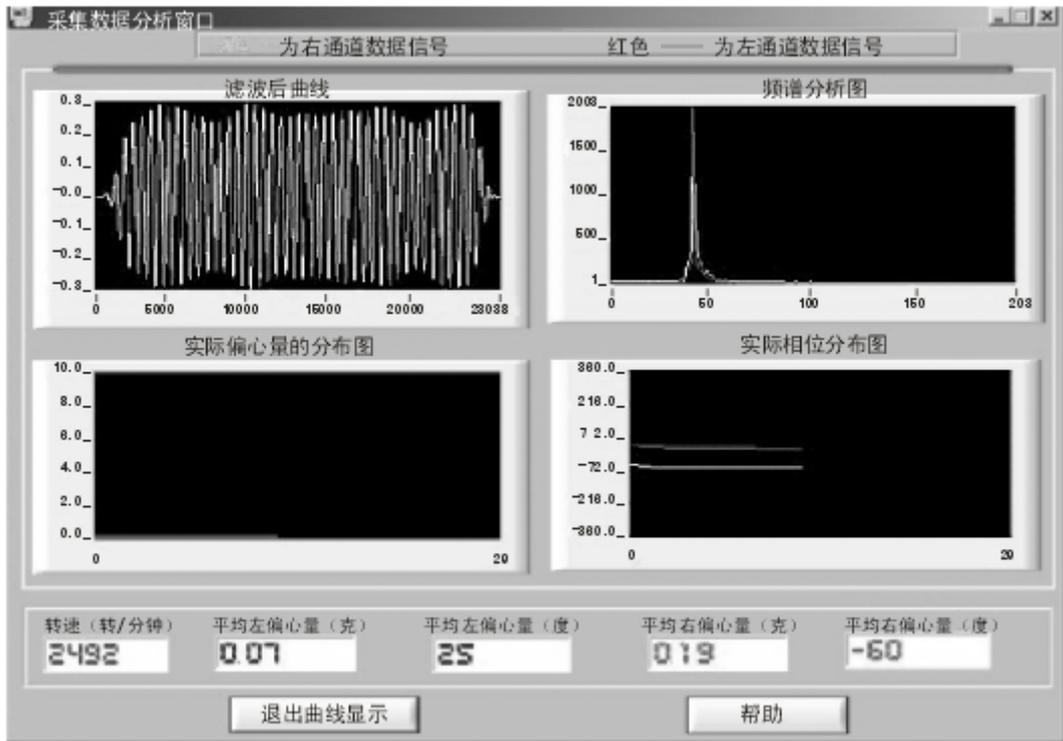
● 采集器标定窗口



进行标定的前提是有一个已经平衡了的转子，在已经平衡了的转子上 A、B 两面加上偏心重量，所加的重量（不平衡量）及（方位角），可从“标定数据输入窗口”输入，启动装置后，通过点击“开始标定采集”来开始标定。“测试次数”自行设定，次数越多标定的时间越长，一般 5~10 次。“测试原始数据”栏只是观察数据，只要有数据表示正常，反之为不正常。“详细曲线显示”可观察标定过程中数据的动态变化过程，来判断标定数据准确性。

在数据采集完成后，计算机采集计算的结果位于第二行的显示区域，可以将手工添加的实际不平衡量和实际的不平衡位置填入第三行的输入框中，输入完成并按“保存标定结果”按钮，点击“退出标定”完成该次标定。

● 数据分析窗口



按“数据分析曲线”键，显示“采集数据窗口”。

- ※ ①滤波器窗口 显示加滤波后的曲线，横坐标为离散点，纵坐标为幅值。
- ※ 频谱分析图 显示 FFT 变换左右支撑振动信号的幅值谱，横坐标为频率，纵坐标为幅值。
- ※ 实际偏心量分布图 自动检测时，动态显示每次测试的偏心量的变化情况。横坐标为测量点数，纵坐标为幅值。
- ※ 实际相位分布图 自动检测时，动态显示每次测试的偏相位角的变化情况。横坐标为测量点数，纵坐标为偏心角度。
- ※ 最下端指示栏 显示每次测量的转速、偏心量、偏心角的数值。

五. 实验步骤

通过“平衡模式选择”、“系统标定”、“数据采集”等过程完成动平衡实验操作。

1. 点击桌面上的“测试程序”。打开 DPH-1 智能动平衡实验机电源开关和“电机”按钮，使受测转子旋转起来。
2. 在“曲线显示”窗口右边通道选择中选择“第 0 通道”，点击“开始测试”，这时应看到绿、白、蓝三路信号曲线。如没有信号应检查传感器的位置是否放好。三路信号曲线正常后退出“测试程序”。关上“电机”按钮，使受测转子停转。
3. 点击桌面上的“动平衡实验系统界面”进入实验状态。
4. 用 150mm 钢板尺和 0~150mm 游标卡尺测量转子的 A、B、C 三段尺寸及转子半径尺寸，并填入“动平衡测试系统”界面中。
5. 在转子两个“零度”各放置一个 1.2 克磁钢点击下拉菜单“设置”点击“系统标定”，在“标定数据输入窗口”下，填写磁钢的重量和方位（度）。再次按下电机按钮。
6. 点击“开始标定采集”按钮标定。若点击“详细曲线”可显示曲线动态过程。等测试十次后自动停止测试。点击“保存标定结果”自动转入“动平衡测试系统界面”。

7. 点击“动平衡测试系统”界面中的“自动采集”按钮，采集3~5次数据，观察不平衡值和角度。一般在数据比较稳定后，点击“停止测试”按钮，再次关上电机按钮。

8. 据实测情况和动力平衡原理，在对应的角度增加磁钢重量。

9. 再次点击“动平衡测试系统界面”中的“自动采集”按钮。采集3~5次数据，观察不平衡值和角度。

① 若设定左、右均达到不平衡量 ≤ 0.3 克时，“滚子平衡状态”窗口，出现红色标志，说明左、右均达到不平衡量 ≤ 0.3 克。点击“停止测试”。即完成动平衡实验。

② 若测定数据未达到不平衡量 ≤ 0.3 克时，则按所提示的值将小磁钢放置在相应的位置上。继续点击“自动采集”。直到“滚子平衡状态”窗口，出现红色标志，点击“停止测试”。即完成动平衡实验。

附：智能动平衡测试实验台磁钢（每一规格数量均为4个）重量单位：克

规格	10×5×3	∅8×3	∅6×2	∅5×1.5	∅4×2	∅3×2	∅2×1
重量	1.2	1	0.42	0.2	0.19	0.15	0.05

注意：

- ① 在点击“停止采集”后，应及时关掉电机按钮。
- ② 适时地在旋转磨擦部位点些机油，避免干磨擦。
- ③ 如果转速在1000转/分以下，说明皮带被拉长了，造成了转速过低，需更换新皮带。

刚性转子动平衡实验报告

班级_____ 姓名_____ 实验日期_____ 审阅_____

一、完成实验后，请思考以下问题：

1. 哪些类型的试件需要进行动平衡？实验的依据是什么？试件经动平衡后是否还要进行静平衡？

2. 指出影响平衡精度的一些因素。

二、学习体会和建议