

# 机械原理

lhxl

2025 年 12 月 9 日

## 1 机构组成和结构分析

### 1.1 机构的组成

#### 1.1.1 构件

构件是参与运动的最小单元，零件是单独加工的最小单元。

#### 1.1.2 运动副

运动副是构件间接触形成的可动连接。

构建未连接时由六个自由度。

引入 $n$ 个约束的运动副称为 $n$ 级副。

面接触的为低副，其他为高副，高副比低副更易磨损。

常见运动副符号见【P10 P12，表1.1】。

#### 1.1.3 运动链

运动链是多个构件通过运动副构成的系统。

如果运动链首末封闭则为闭链，否则为开链。

#### 1.1.4 机构

在运动链中若固定某一构件，使其他构件有确定的相对运动，则此运动链成为机构。

### 1.2 机构运动简图

#### 1.2.1 运动简图

见【P13 P15，表1.2； P15 P17，表1.3】。

#### 1.2.2 运动简图的绘制

见书。

### 1.3 运动链成为机构的条件

#### 1.3.1 运动链的自由度计算

设有 $n$ 个构件，则初始有 $6n$ 个自由度。

当引入 $p_n$ 个 $n$ 级副时。

自由度为：

$$F = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1$$

平面运动链中

$$F = 3n - 2p_5 - p_4$$

#### 1.3.2 运动链成为机构的条件

运动链的自由度大于零，且原动件的数量等于自由度时，有确定的运动则称为机构。

#### 1.3.3 计算自由度时应注意的问题

##### 1. 复合铰链

若 $k$ 个构件在同一点构成运动副，则运动副数量为 $k - 1$ 。

##### 2. 局部自由度

有些构件产生的自由度并不影响其他构件，仅在自身局部产生作用。

因此计算自由度时应减去。

$$F = 3n - 2p_5 - p_4 - F_{\text{㉔}}$$

##### 3. 虚约束

1. 自由度被多个运动副同时限制。

2. 不同自由度产生同样的效果。

3. 不同构件运动轨迹相同的。

4. 约束不影响运动的。

这些多余的约束称为虚约束，计算自由度时应忽略。

### 1.4 机构的组成原理和结构分析

#### 1.4.1 平面机构的高副低代

高副低代的条件：

1. 代替后自由度不变。

2. 代替后速度和加速度不变。

#### 1.4.2 机构的组成原理

##### 1. 杆组

杆组是机构中不可再分的自由度为零的构建组合。

$$3n - 2p_5 = 0$$

因此 $n$ 只能为偶数。

常见杆组见【P25，图1.20、图1.21】。

## 2. 机构的组成原理

把若干个自由度为零的基本杆组连接到机架和原动件上。

满足条件的情况下，机构越简单越好。

### 1.4.3 机构的结构分析

见书。

## 2 连杆机构

### 2.1 平面连杆机构的类型

结构最简单运用最广泛的是平面四杆机构。

#### 2.1.1 平面四杆机构的基本型式

非机架的杆件称作摇杆，能做整周运动的称为曲柄。

##### 1. 曲柄摇杆机构

##### 2. 双曲柄机构

两曲柄长度相同时称为平行四边形机构，可能会卡死，因此可在从动曲柄上装一个惯性较大的轮子。

##### 3. 双摇杆机构

两曲柄长度相同时称为等腰梯形机构。

#### 2.1.2 平面四杆机构的演化

1. 转动副转化成移动副。

2. 选取不同构件为机架。

3. 变换构件的形态。

4. 扩大转动副的尺寸。

### 2.2 平面连杆机构的工作特性

#### 2.2.1 运动特性

##### 1. 转动副为整转副的条件

1) 组成整转副的两个构件中必有一个最短杆，且最长和最短杆长度之和必小于等于其余两构件的长度。

##### 2. 急回运动特性

两摇杆的平均角速度不同，这种运动称为急回运动。

行程速度变化系数：

$$K = \frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{180^\circ + \theta}{180^\circ - \theta}$$

极位夹角：

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

$\theta$ 角和 $K$ 越大，急回运动特性越显著。

### 3. 运动的连续性

构件的各自的可行域必须连续，否则运动不连续。

## 2.2.2 传力特性

### 1. 压力角和传动角

$$\begin{cases} F_t = F \cos \alpha \\ F_n = F \sin \alpha \end{cases}$$

$\alpha$ 称为压力角。

压力角的余角称为传动角：

$$\gamma = 90^\circ - \alpha$$

传动角越大，机构效率越高。

为了保证机构有良好传力性， $\gamma \geq 40^\circ$ ，对于高速和大功率传动器械， $\gamma \geq 50^\circ$ 。

### 2. 死点位置

机构运行中，从动件可能出现共线的情况，此时从动件的传动角为0。

应采取措施使机构通过死点。

有时死点也能起到夹紧等作用。

## 2.3 平面连杆机构的的特点及功能

### 2.3.1 平面连杆机构的特点

1. 构件间以低副连接，可传递较大动力。
2. 构建运动具有多样性。
3. 再主动件运动规律不变的情况下，只要改变连杆机构各构件的相对尺寸，就可以使从动件实现不同的运动规律的运动要求。
4. 连杆曲线具有多样性。
5. 在连杆机构的运动过程中，一些构件的质心在做变速运动，产生动载荷，发生震动，因此连杆机构不适于高速运动。
6. 由于各构件尺寸不可能完全精准，因此运动误差较大。

### 2.3.2 平面连杆机构的功能

1. 实现有轨迹、位置或有运动规律要求的运动。
2. 实现从动件运动形式及运动特性的改变。
3. 实现较远距离的传动。

4. 调节、扩大从动件行程。

5. 获得较大的机械增益。

机械输出力矩（或力）与输入力矩（或力）的比值称为机械增益。

## 2.4 平面连杆机构的运动分析

### 2.4.1 瞬心法及其应用

#### 1. 速度瞬心

当两构件做平面相对运动时，在任意瞬间，都可以认为他们在绕某一重合点作相对运动，这个点被称为速度瞬心。

#### 2. 机构中速度瞬心的数量

$$N = n(n - 1)/2$$

#### 3. 机构中瞬心位置的确定

##### 1) 通过运动副连接的构件

（1）以转动副连接的构件

运动副的连接处即为瞬心。

（2）以移动副链接的两构件的瞬心

瞬心位于垂直于移动方向的无限远处。

（3）以平面高副连接的两构件的瞬心

若运动为纯滚动，则瞬心为滚动接触点。

若运动为滚动加运动，则瞬心位于转动切向方向。

##### 2) 不直接相连的两构件的瞬心

此瞬心满足三心定理：做平面运动的三个构件的三个瞬心位于同一直线。

#### 4. 瞬心在速度分析中的应用

见【P53，图2.48】

可看作AB和CD以 $P_{24}$ 为圆心转动。

### 2.4.2 平面机构的整体运动分析法

见书。

二次方程求根公式中根号项M前为位置模式。

### 2.4.3 基本杆组法及其应用

#### 1. 基本杆组法

#### 2. 基本杆组法的应用

## **2.5 平面连杆机构的运动设计**

### **2.5.1 平面连杆机构设计的基本问题**

1. 实现刚体给定位置的设计
2. 实现预定运动规律的设计
3. 事先预定轨迹的设计

### **2.5.2 刚体导引机构的设计**

见书。

### **2.5.3 函数生成机构的设计**

略。

### **2.5.4 急回机构的设计**

通常要求按照给定的K值设计。

首先计算极位夹角。

作图法见书。

### **2.5.5 轨迹生成机构的设计**

略。

## **2.6 空间连杆机构**

略。

## **3 凸轮机构**

### **3.1 凸轮机构的组成和特点**

#### **3.1.1 凸轮机构的组成**

凸轮机构由凸轮、从动件、机架组成。

#### **3.1.2 凸轮机构的类型**

##### **1. 按照凸轮形状分**

- 1) 盘型凸轮、2) 移动凸轮、3) 圆柱凸轮。

##### **2. 按照从动件的形状分**

- 1) 尖端从动件

能与任意复杂的凸轮配合使用。

结构简单，尖端处易磨损。

## 2) 曲面从动件

应用较多。

## 3) 滚子从动件

从动件与凸轮之间有滑动摩擦。

## 4) 平底从动件

从动件与凸轮之间为线接触，润滑好。

凸轮对从动件的作用力永远垂直于底面，受力平稳，传动效率高，常用于高速场合。

缺点是凸轮必须是外凸形状。

## 3. 按照从动件运动类型分类

1) 移动从动件，2) 摆动从动件。

## 4. 按照凸轮与从动件维持高副接触的方法分类

### 1) 力封闭型凸轮机构

通过重力等维持凸轮与从动件之间的接触。

### 2) 型封闭凸轮结构

(1) 槽凸轮机构，(2) 等宽凸轮机构等。。。

## 3.2 凸轮机构的特点和功能

### 3.2.1 凸轮机构的特点

结构简单紧凑。

**3.2.2**

**3.2.3**

**3.2.4**

**3.2.5**

**3.2.6**

**3.2.7**

**3.2.8**

**3.2.9**

**3.2.10**

### **3.3 从动件运动规律设计**

**3.3.1**

**3.3.2**

**3.3.3**

**3.3.4**

**3.3.5**

**3.3.6**

**3.3.7**

**3.3.8**

**3.3.9**

**3.3.10**

### **3.4 凸轮廓线设计**

**3.4.1**

**3.4.2**

**3.4.3**

**3.4.4**

**3.4.5**

**3.4.6**

**3.4.7**

**3.4.8**

**3.4.9**

**3.4.10**