

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。

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

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

非机架的构件称作摇杆，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：

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

θ 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

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

α 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. 在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) 以移动副连接的两构件的瞬心

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