

# 机电一体化系统设计

机械

电气

计算机

机电一体化

## 第四章 机械系统设计



**机械系统**是机电一体化系统的最基本要素，是由计算机协调与控制的，用于完成包括**机械力**、**运动**和**能量流**等动力学任务的机械及机电部件相互联系的系统。

### ➤ 机电一体化对机械系统的要求

1. 高精度；
2. 快速响应；
3. 良好的稳定性。

### ➤ 机械传动系统的特性

转动惯量小 摩擦小 间隙小  
阻尼合适 刚度大 抗振性能好



## ➤ 机电一体化机械系统主要组成

机械系统包括**传动部件**、**导向支撑结构**和**执行机构**等，用于完成传递功率、运动和完成指定的动作。

## ➤ 机电一体化机械系统设计的主要任务

- 机电一体化机构的选型与设计
- 机电一体化机械系统的工程设计



# 第四章 机械系统设计

4.1 机电一体化系统典型机构

4.2 机器人机构

4.3 精密齿轮传动

4.4 同步带传动

4.5 滚珠丝杠传动

4.6 导轨设计

4.7 机械系统设计综合应用实例



# 4.1 机电一体化系统典型机构

## 4.1.1 基本概念与术语

## 4.1.2 机构设计基础

## 4.1.3 连杆机构

## 4.1.4 凸轮机构

## 4.1.5 齿轮机构



## 4.1.1 基本概念与术语

- **运动**

- 平移

- 3 DOF

- 旋转

- 3 DOF

- 无约束

- 6 DOF

- 约束

- 1-5 DOF

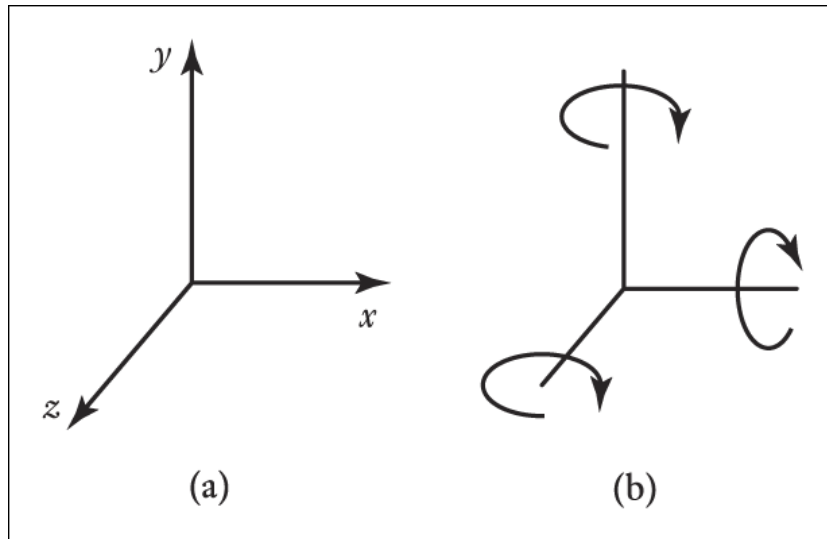
- 冗余



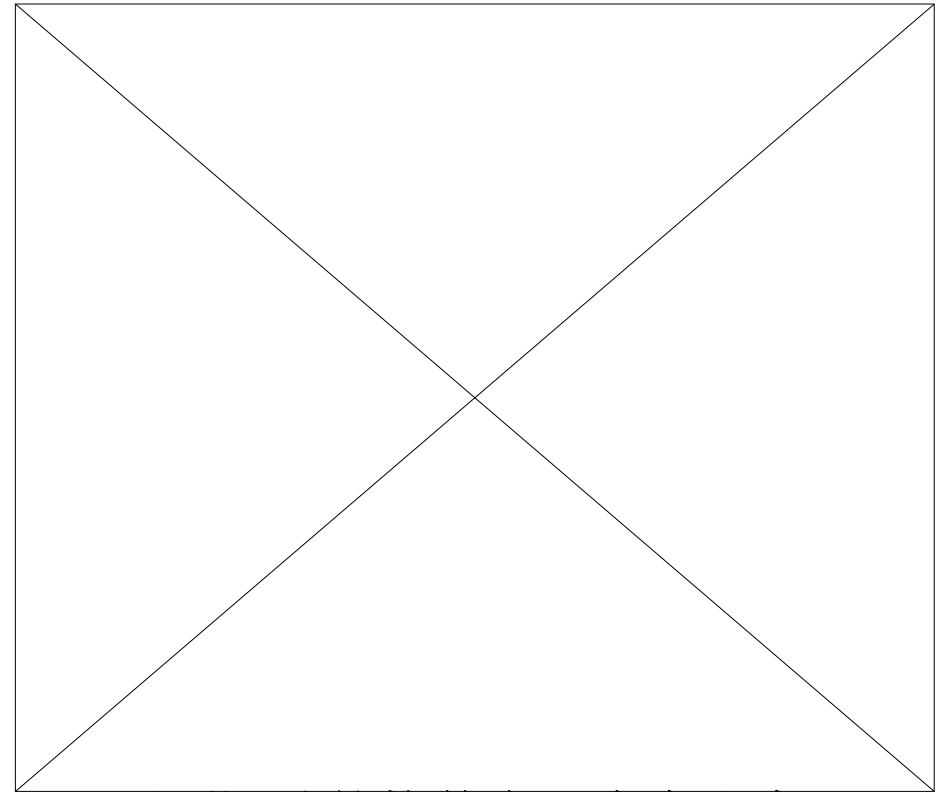
6自由度



## ➤ 空间物体的自由度（独立运动的数目）



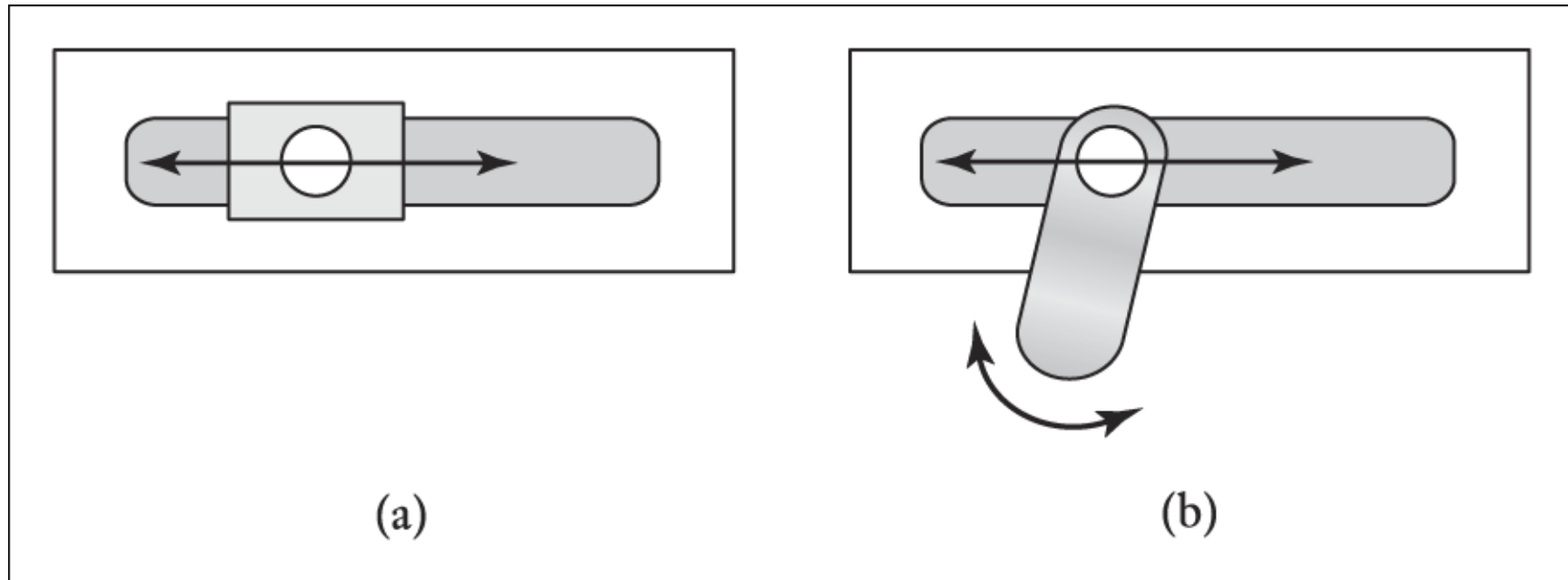
空间物体的六个自由度



平面运动的构件有三个自由度



➤ 自由度和约束（构件独立运动所加的限制）



关节有：(a) 一个自由度； (b) 两个自由度

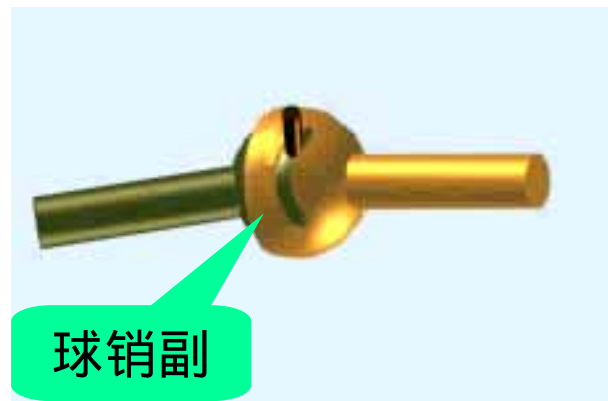
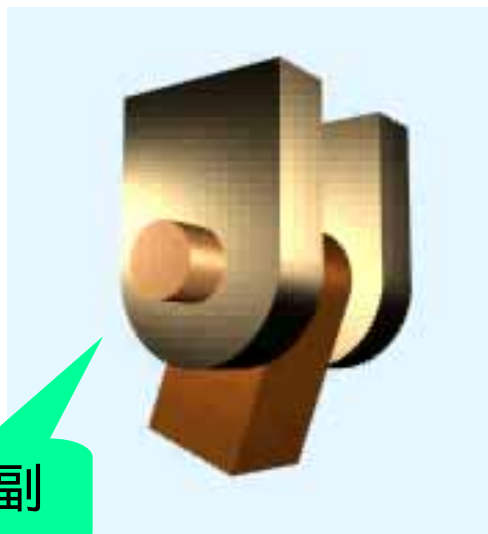




## ➤ 运动副

运动副：两构件直接接触形成的可动连接；

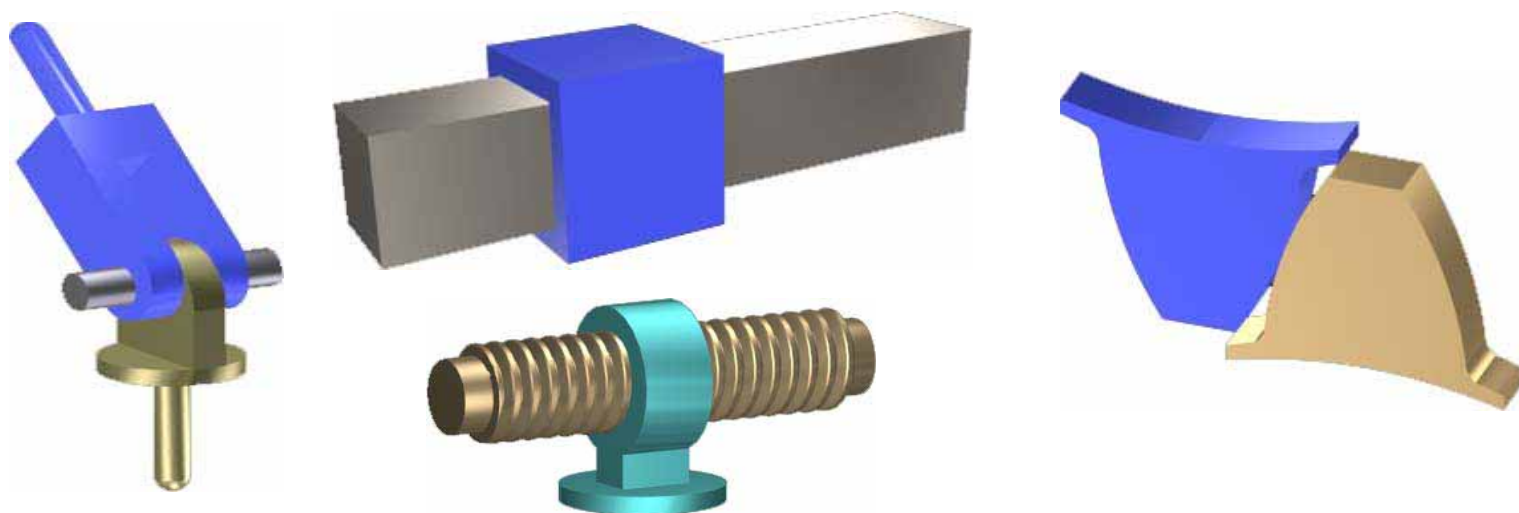
平面运动副、空间运动副



## • 运动副的分类

通常把面接触的运动副称为**低副**，点接触或线接触的运动副称为**高副**。

在平面机构中，一个低副有两个约束条件，一个高副有一个约束条件。



低副

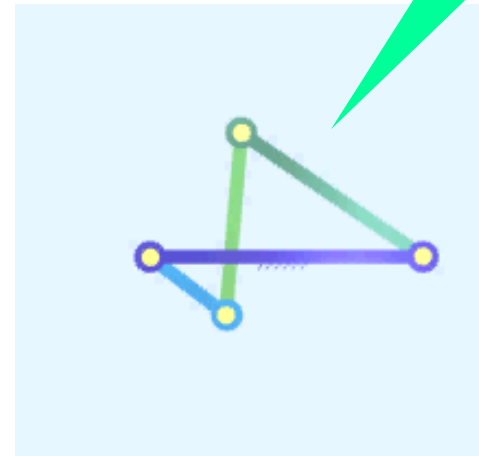
高副



- 常见平面运动副及其自由度



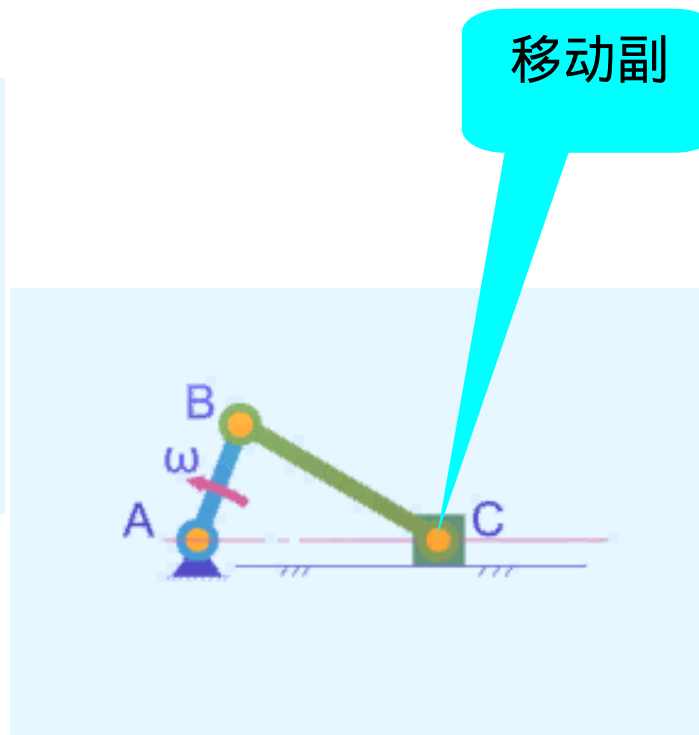
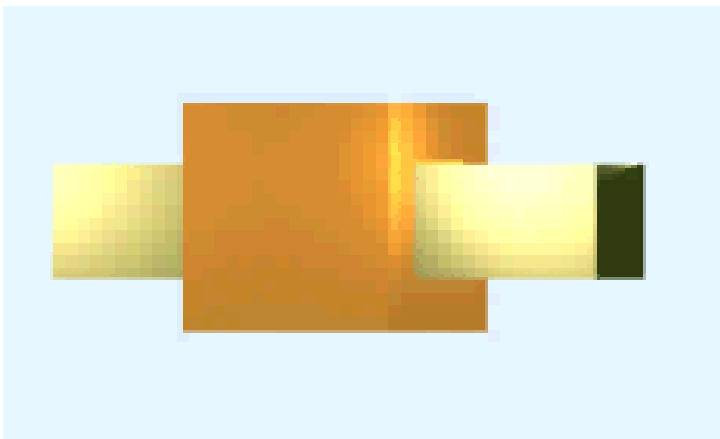
转动副(低副)  
(自由度为1)  
可以绕铰链轴转动



转动副



- 常见平面运动副及其自由度



移动副(低副)  
(自由度为1)  
可以沿导路移动



## ● 常见平面运动副及其自由度

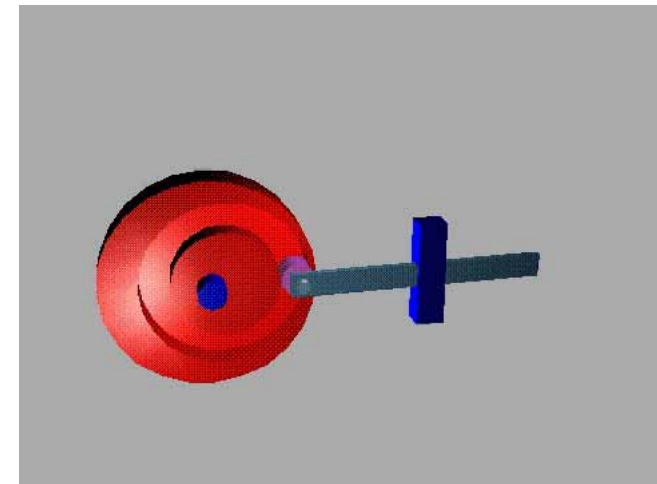
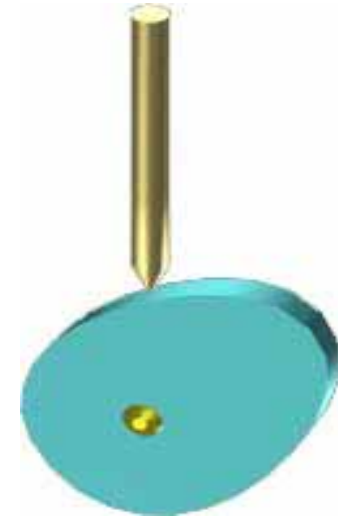
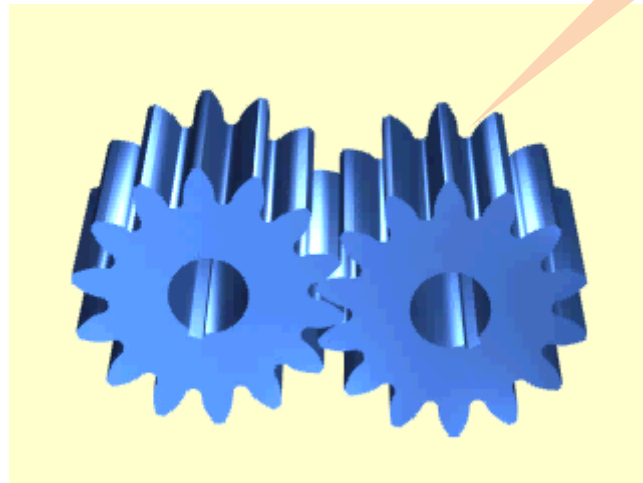
齿轮副，凸轮(高副)

(自由度为2)

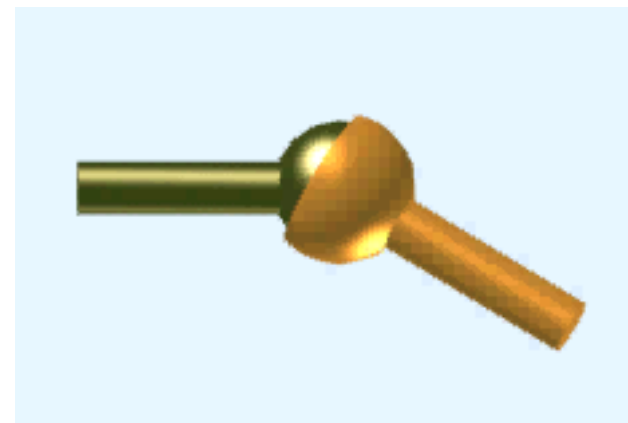
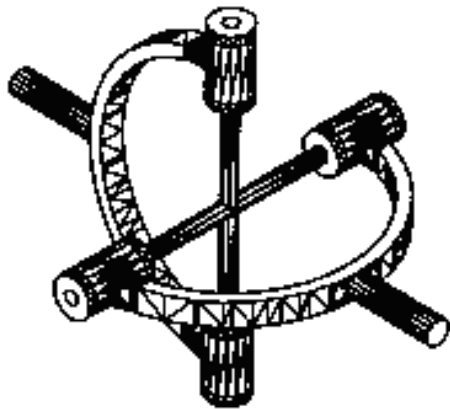
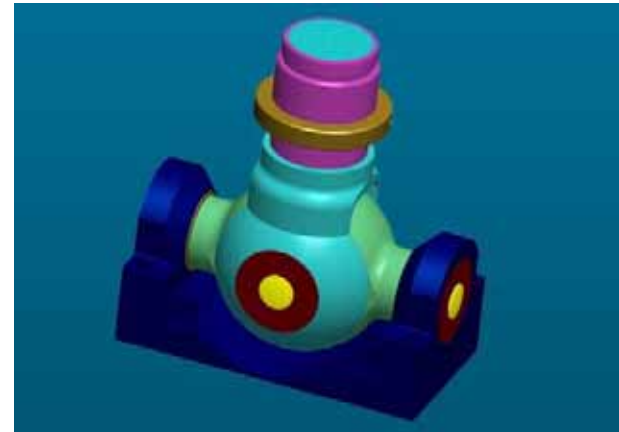
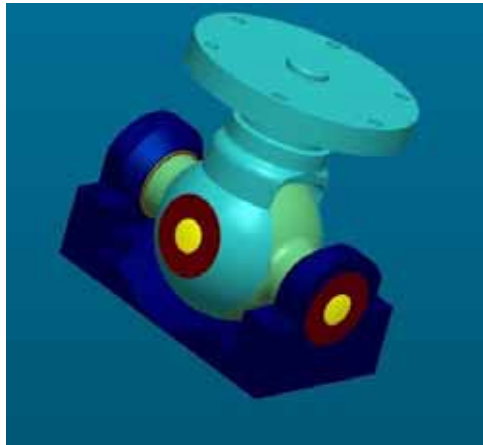
可以沿切线移动

可以绕接触点或线转动

高副



- 常见的空间运动副



复合运动副：万向铰或虎克铰

球铰

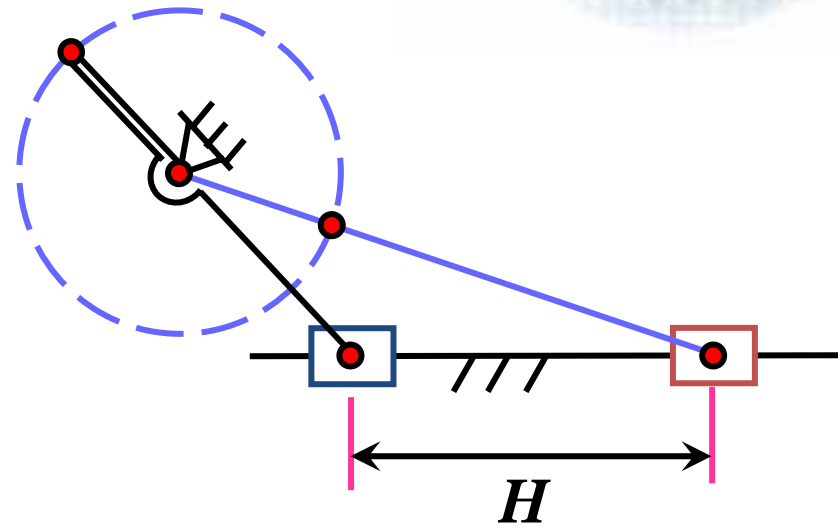
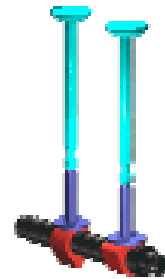


## 4.1.2 机构设计基础

### • 机构

#### - 运动转换器

- 连杆 - 复杂的运动
- 凸轮 - 旋转 to 线性
- 链, 齿轮, 滑轮 - 力或运动放大
- 机器人机构



## • 机构及其组成

– 由两个或两个以上构件通过活动联接形成的构件系统。

- 机架：构件中的固定构件；
- 原动件：机构中按给定的已知运动规律独立运动的构件；
- 从动件：除原动件外其余活动构件。

– 组成机构的各构件都在相互平行的平面内运动的机构称为**平面机构**，否则称为**空间机构**。





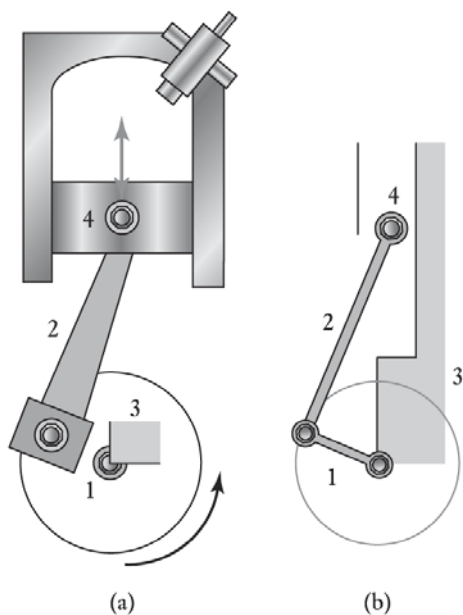
## • 机构自由度数

- $F < 0$  : 超静定桁架，构件间无相对运动；
- $F = 0$  : 静定刚性桁架，构件间无相对运动；
- $F > 0$  :
  - 原动件数  $< F$ ，各构件间无确定相对运动；
  - 原动件数  $> F$ ，在机构的薄弱处易遭到破坏。
  - 原动件数  $= F$ ，机构具有确定运动。

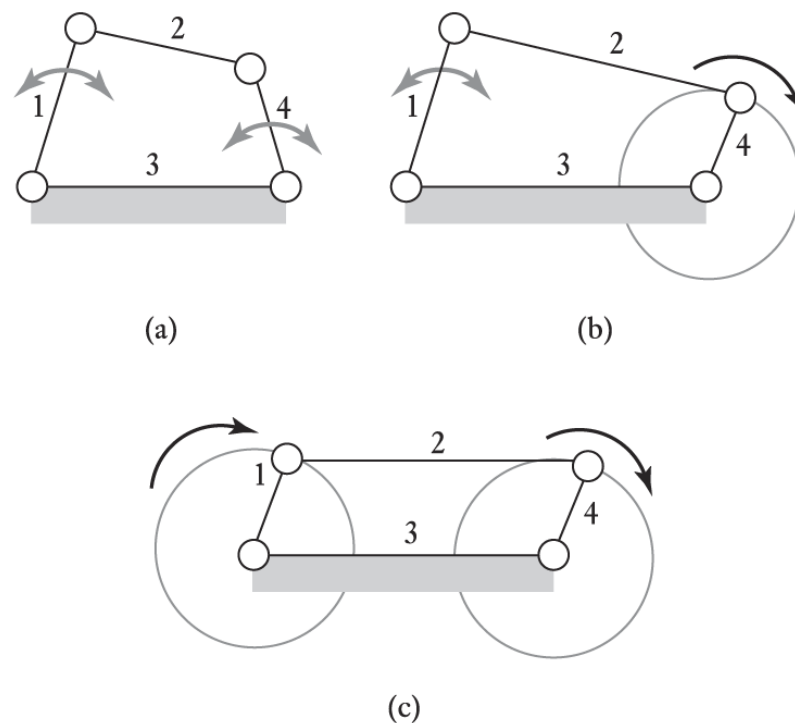


## • 机构运动简图

- 用国家标准规定的线条和符号表示构件与运动副、按比例表示构件的运动尺寸，反映原机构运动情况的简化图形。



曲柄滑块机构

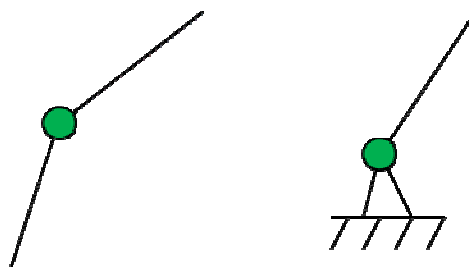


四连杆机构

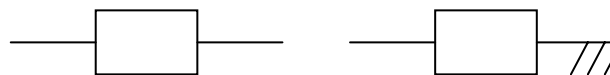


# • 平面运动副

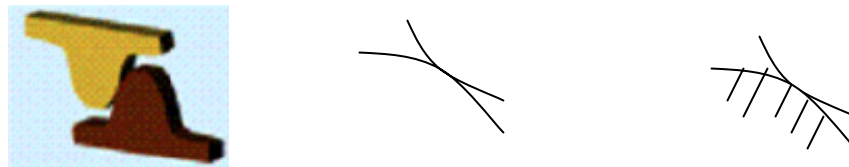
## ➤ 转动副



## ➤ 移动副



## ➤ 平面高副

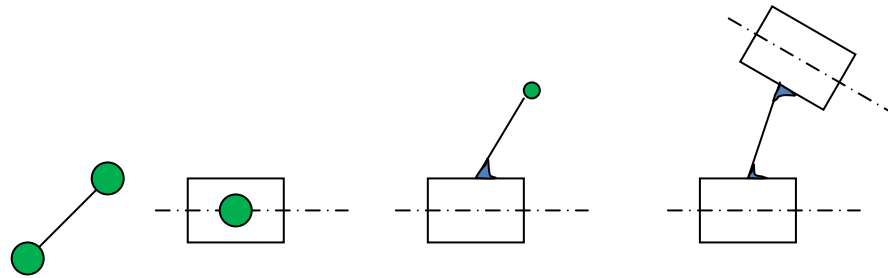


# • 构件

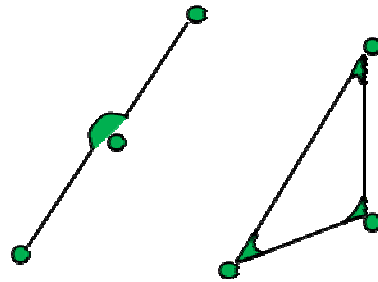
## ➤ 机架



## ➤ 两副构件



## ➤ 三副构件



# 颚式破碎机主体机的机构运动简图

当偏心轴2绕其轴心连续转动时，动颚3作往复摆动，从而将处于动颚板3和定颚之间的矿石轧碎。

## 工作过程：

电动机



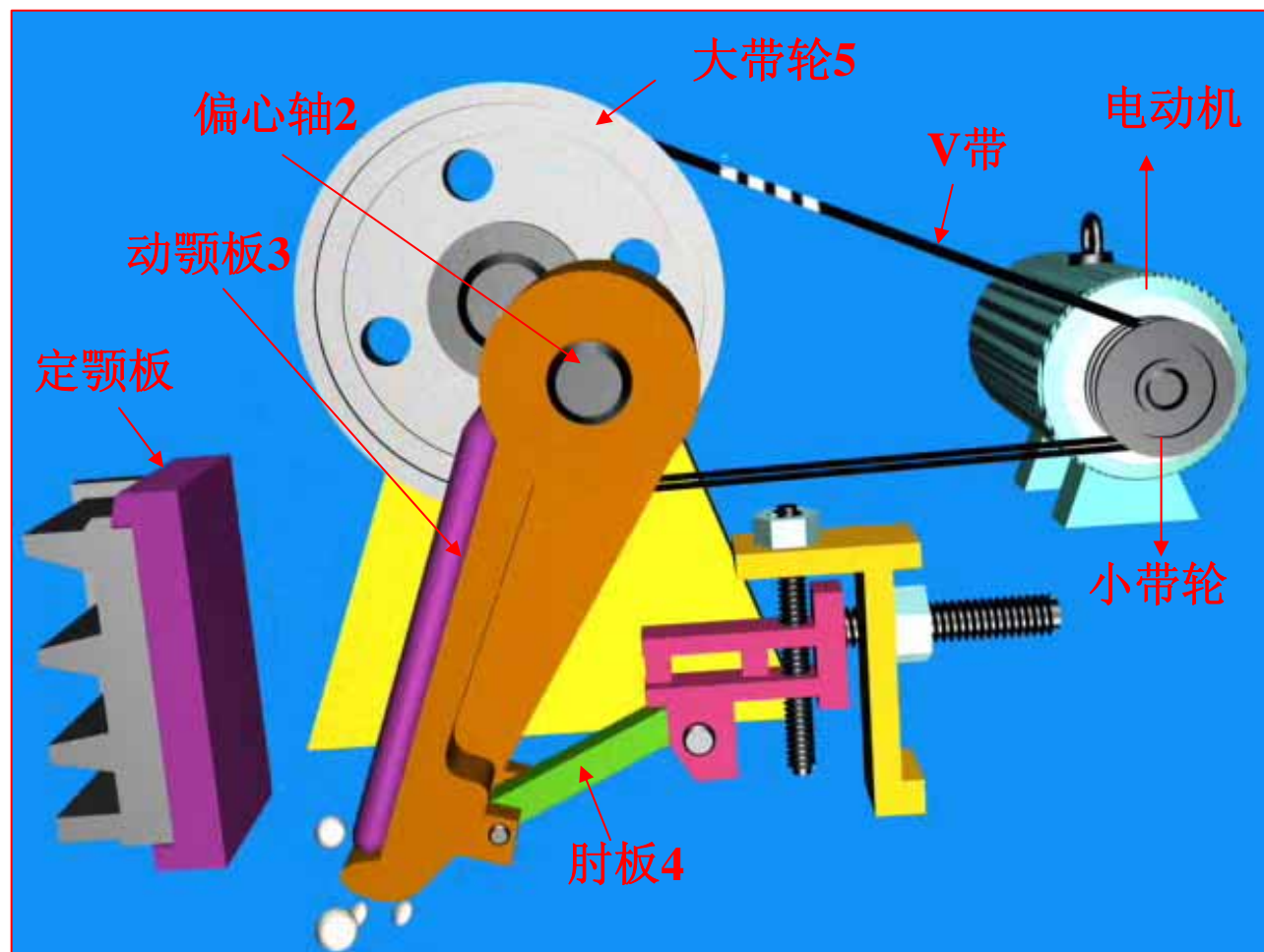
带传动



偏心轴转动

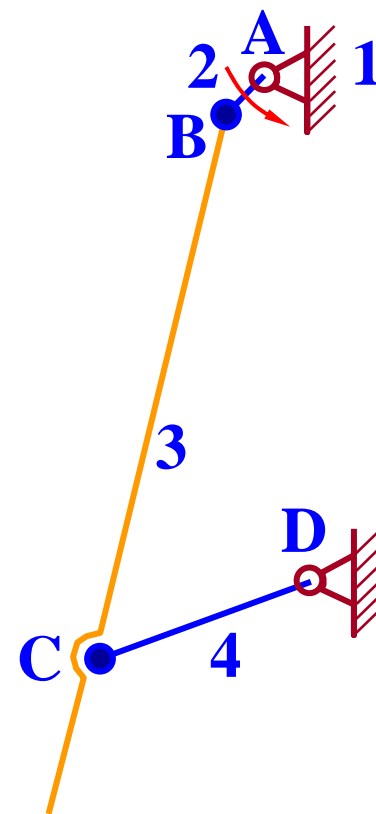
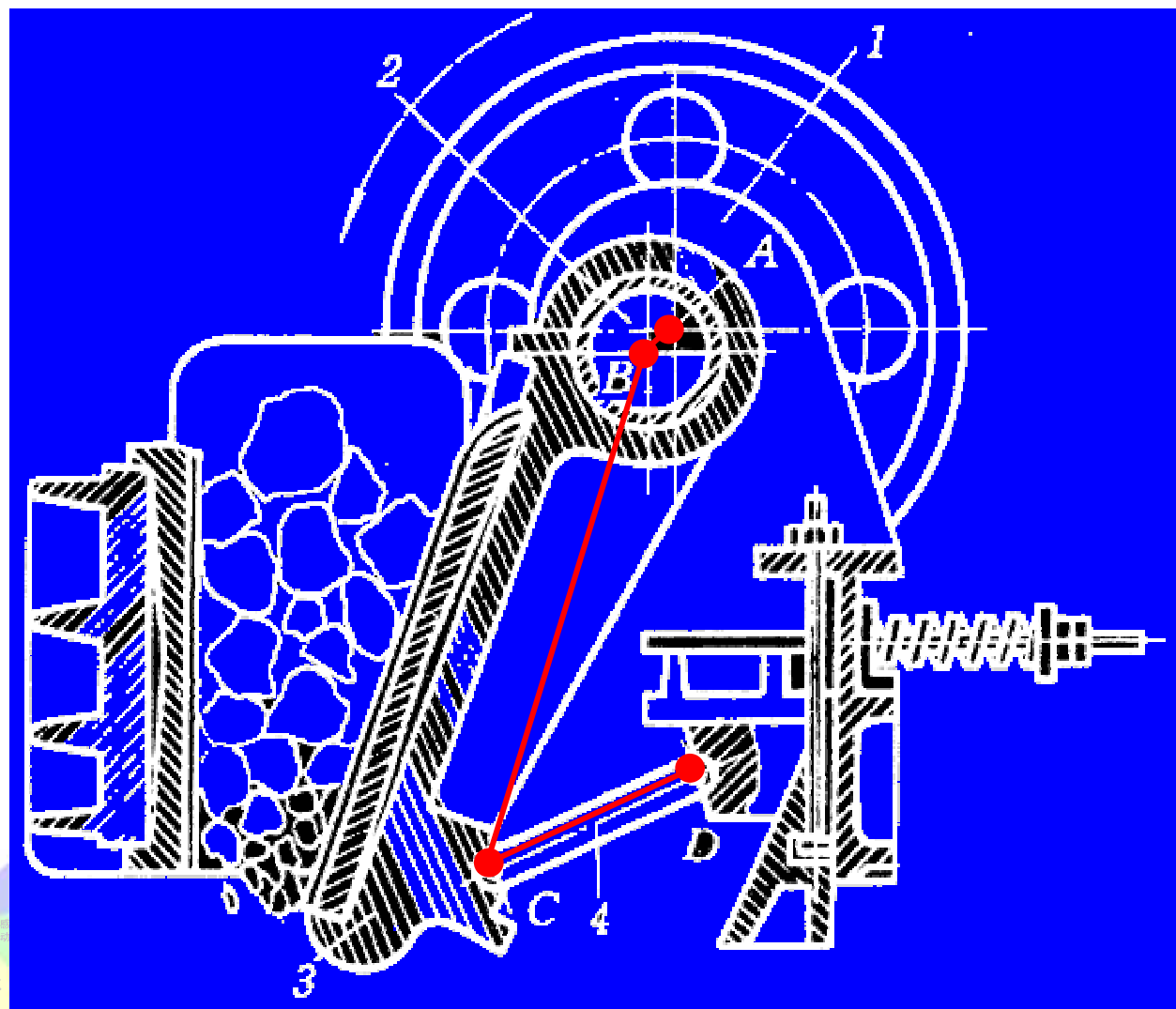


动颚板摆动，与定颚板一起压碎物料



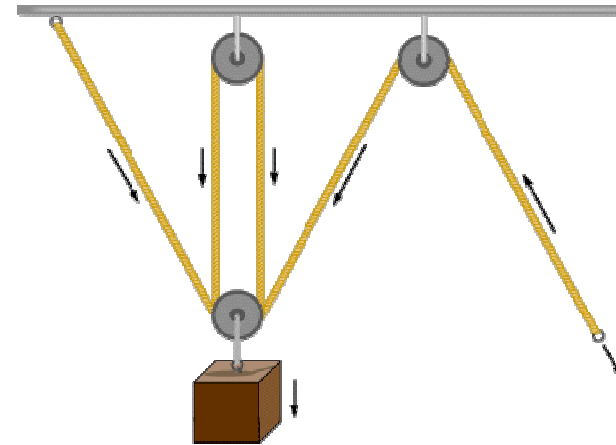
# 颚式破碎机主体机的机构运动简图

当偏心轴2绕其轴心连续转动时，动颚3作往复摆动，从而将处于动颚板3和定颚之间的矿石轧碎。



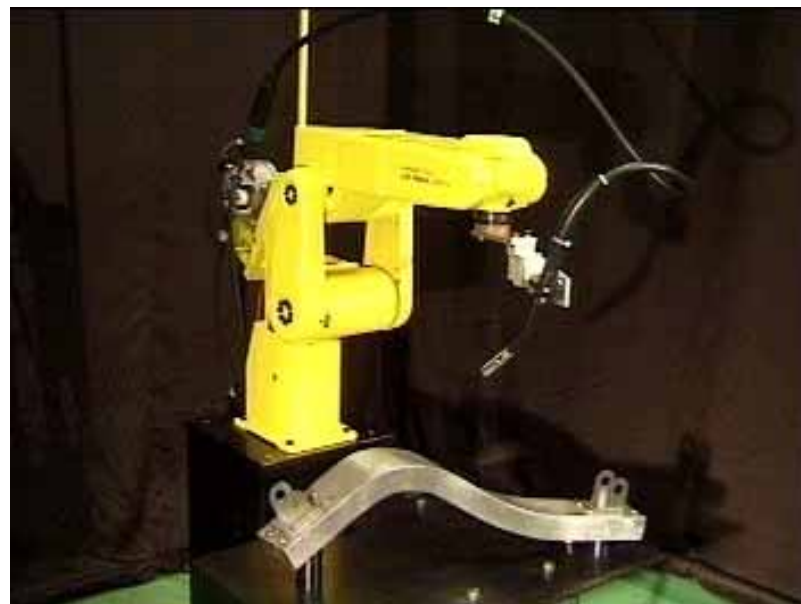
## • 运动学

- 不考虑引起运动的原因—力的作用，只从几何方面研究物体在空间的位置随时间的变化规律，确定运动过程中物体的位置、速度、加速度、转动角速度和角加速度等。
- 运动的研究(不考虑力)



## • 动力学

- 机械动力学是研究机械在力作用下的运动和机械在运动中产生的力的科学。
  - 动力学反问题（已知运动求力）
  - 动力学正问题（已知力求运动）
- 分为分析和综合两个方面：
  - 分析：研究现有机械；
  - 综合：设计新机械使之达到给定的运动学、动力学要求。



➤**动力学反问题**：首先对机器人手部进行轨迹规划，即给定手部的运动路径及轨迹上各点的速度及加速度，然后，求出应施加于各关节处的广义驱动力的变化规律。

➤**动力学正问题**：已知各关节的驱动力矩，求解手部的真实运动。





## 4.1.3 连杆机构

### 基本概念

- **连杆机构**：用销轴等零件将细长的杆件连接起来组成的机构称为连杆机构。由四根杆件组成的机构称为四连杆机构。
- **曲柄**：杆与杆之间构成转动副或者滑动副，其中作为旋转运动的杆件称为曲柄，
- **摇杆**：只能在一定角度内作往复摆动的杆称为摇杆。



# 常用机构

## ➤ 四连杆

– 格拉斯霍夫条件（杆长和条件）

1. 最短和最长的总和 另外两杆之和  $\rightarrow$  曲柄存在的必要条件

2. 最短和最长的总和  $>$  另外两杆之和  $\rightarrow$  两杆都不周转的双摇杆

## ➤ 曲柄滑块

– 用曲柄和滑块来实现转动和移动相互转换的平面连杆机构

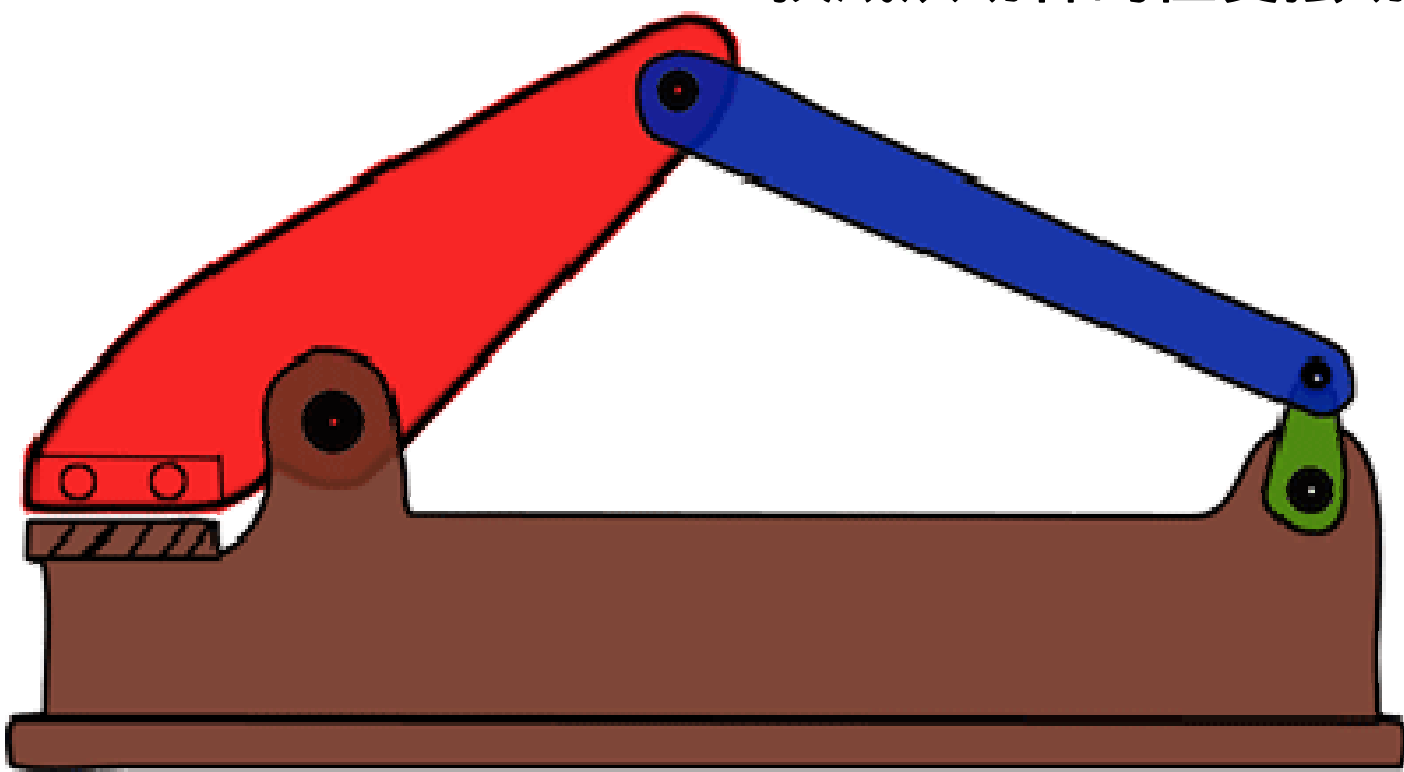
– 偏置曲柄机构具有急回特性

– 对心曲柄机构没有急回特性



# 连杆机构选型与设计

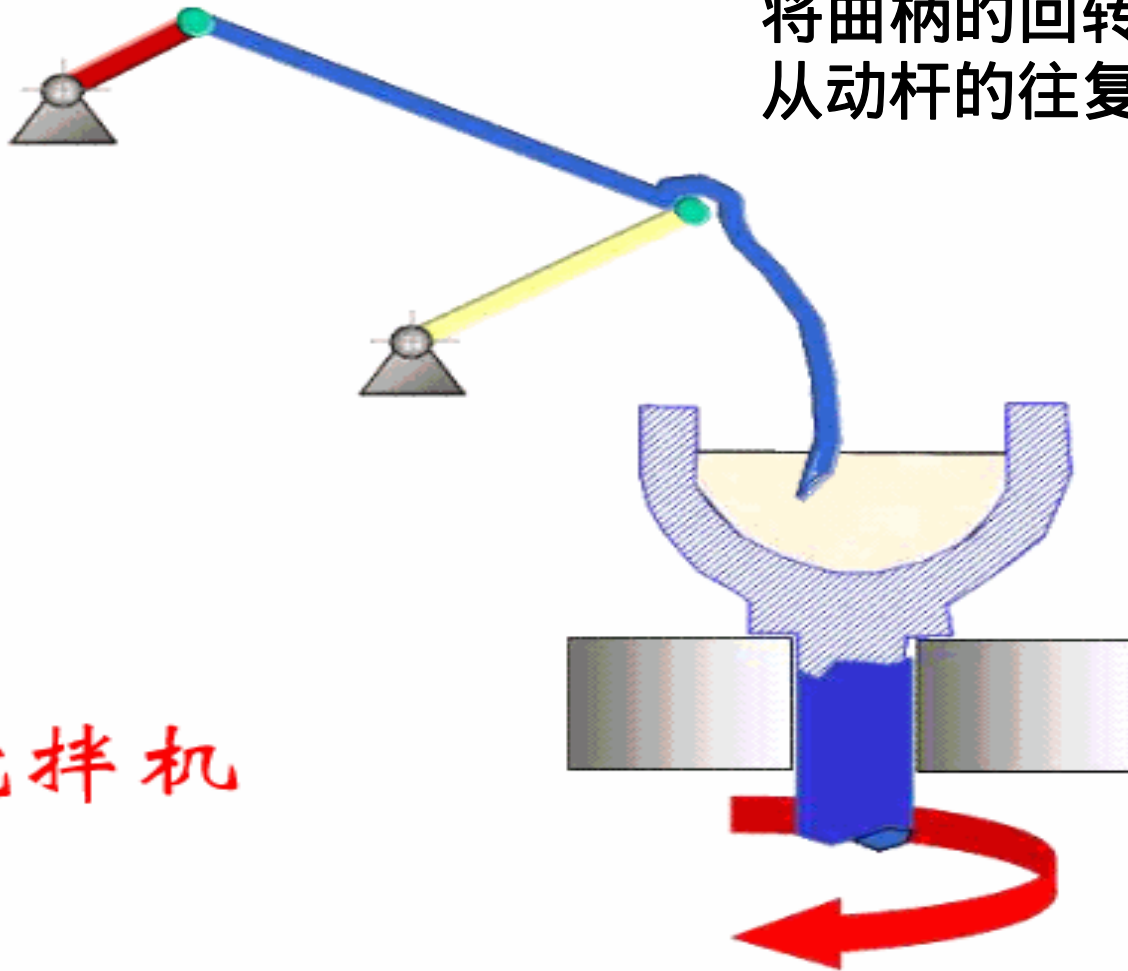
以曲柄为主动件：  
将曲柄的回转运动转  
换成从动杆的往复摆动



剪刀机



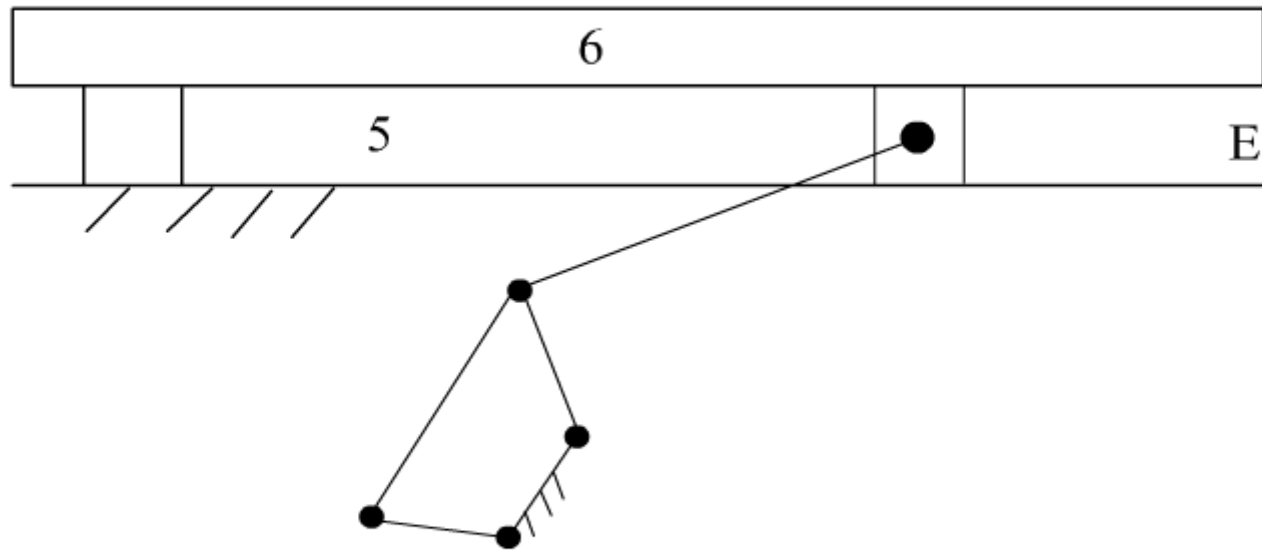
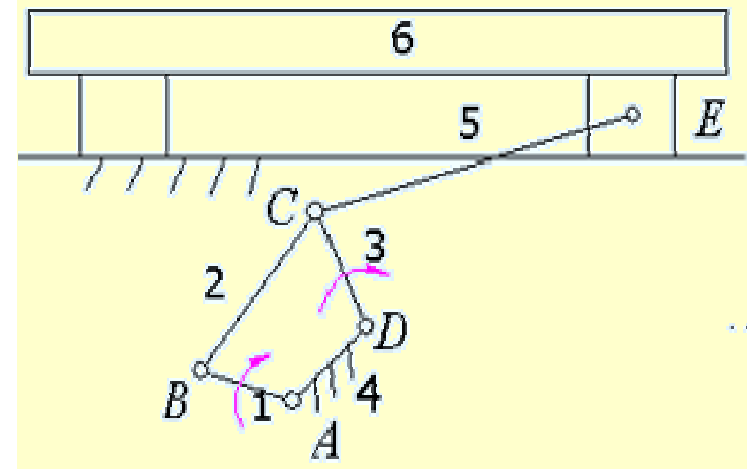
以曲柄为主动件：  
将曲柄的回转运动转换成  
从动杆的往复摆动



搅拌机

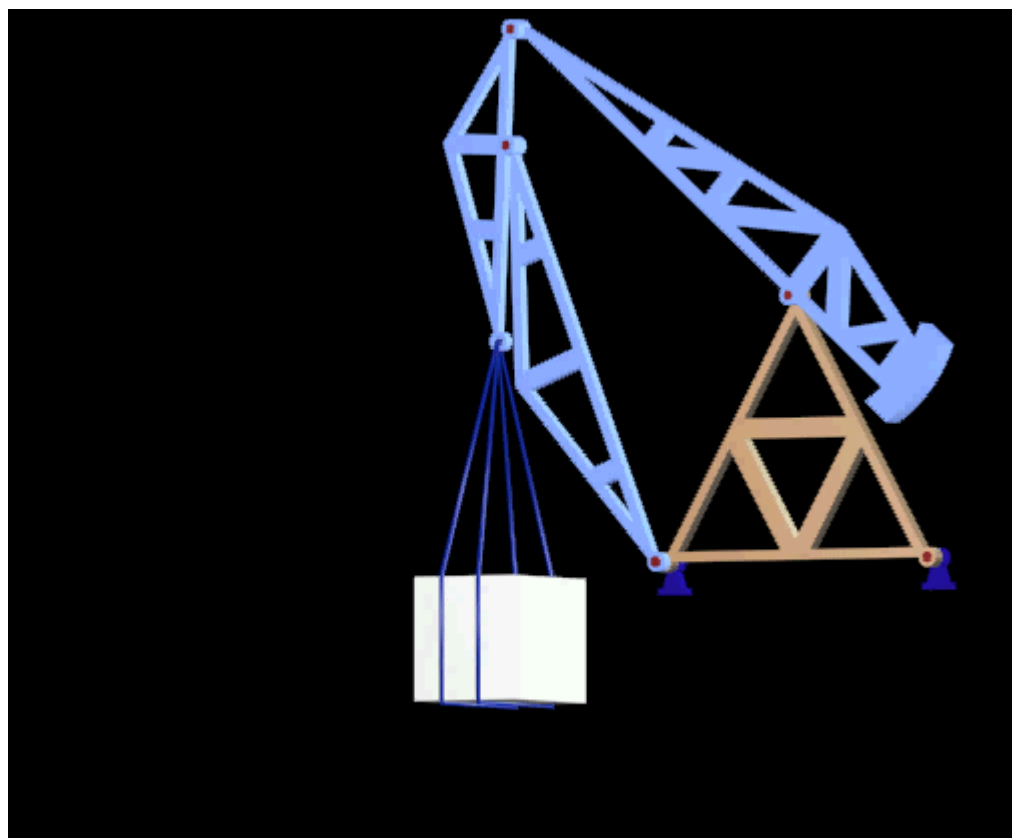


当主动曲柄连续等速转动时，  
从动曲柄一般不等速转动



惯性筛

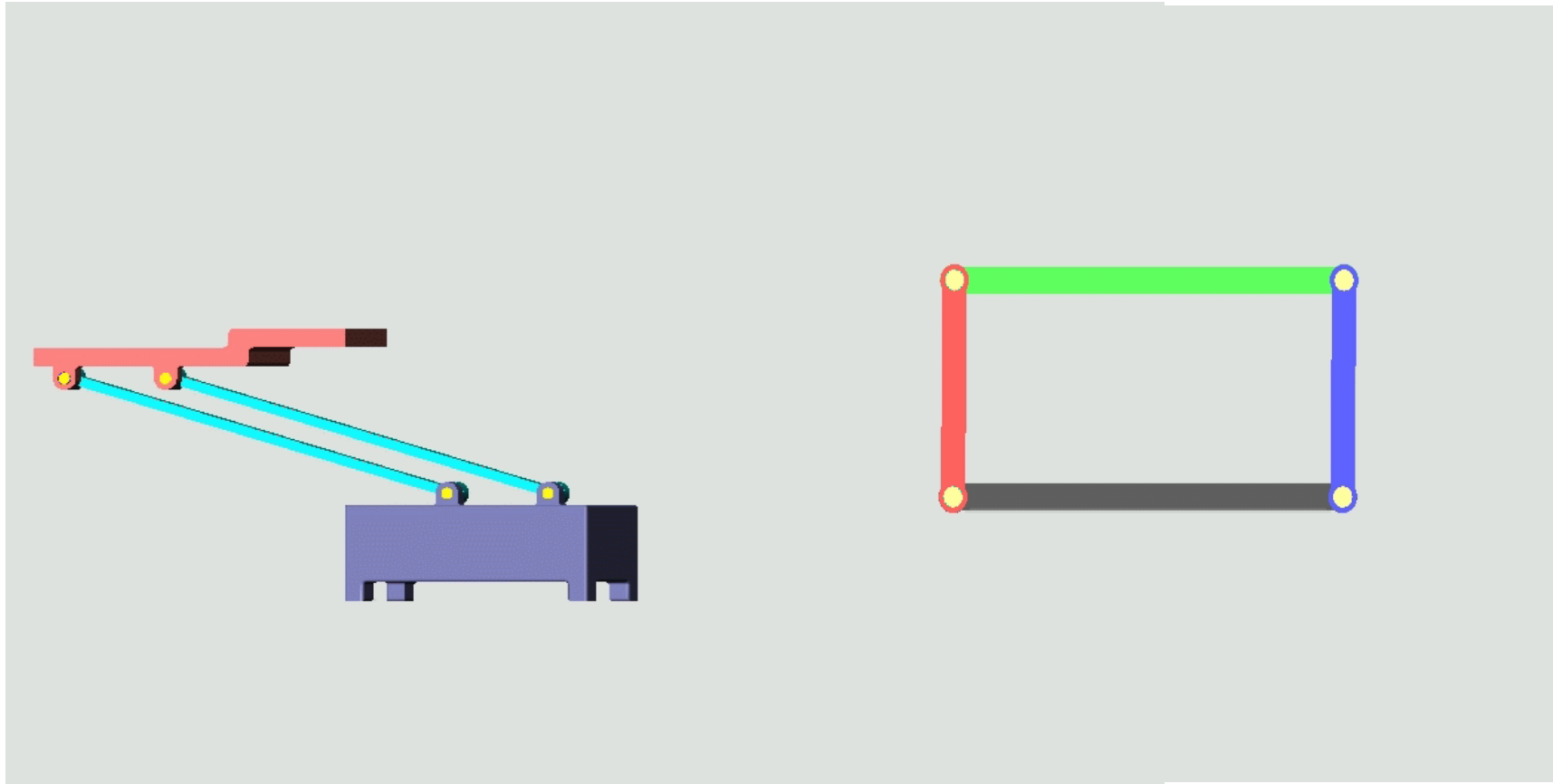
当主动摇杆摆动时，从动摇杆也随之摆动，同时在连杆上也可获得预期的运动轨迹。



鹤式起重机

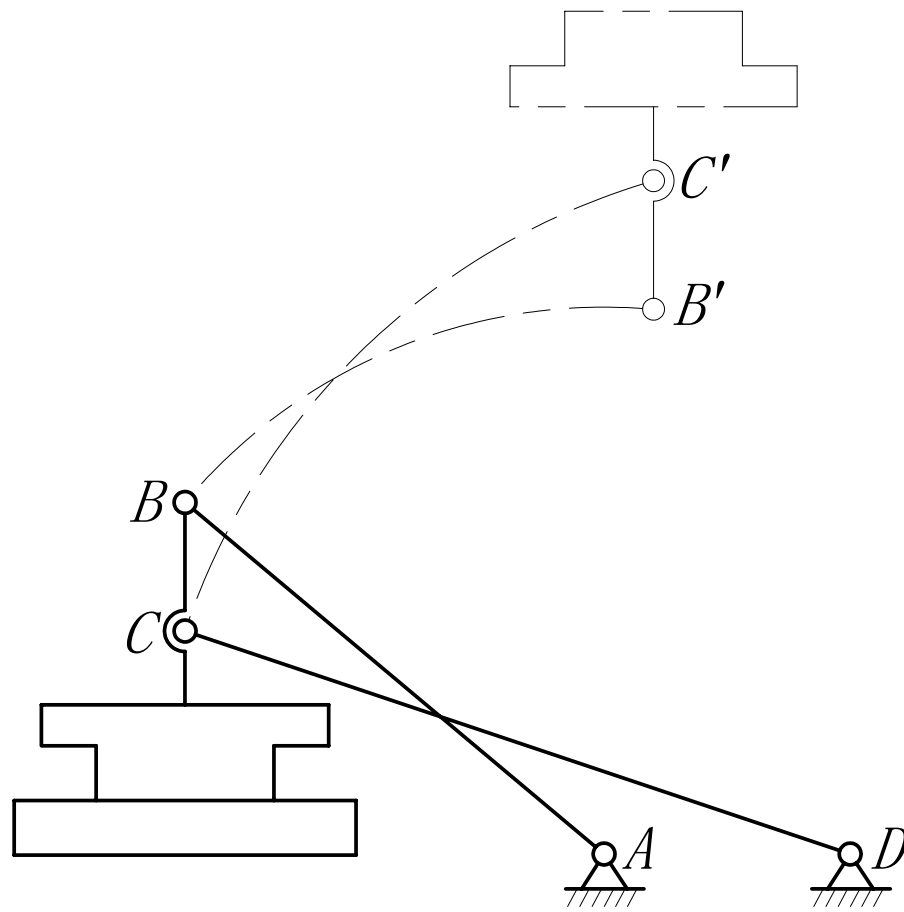


## 摄影平台升降机构



平行双曲柄机构（运动的同向性）



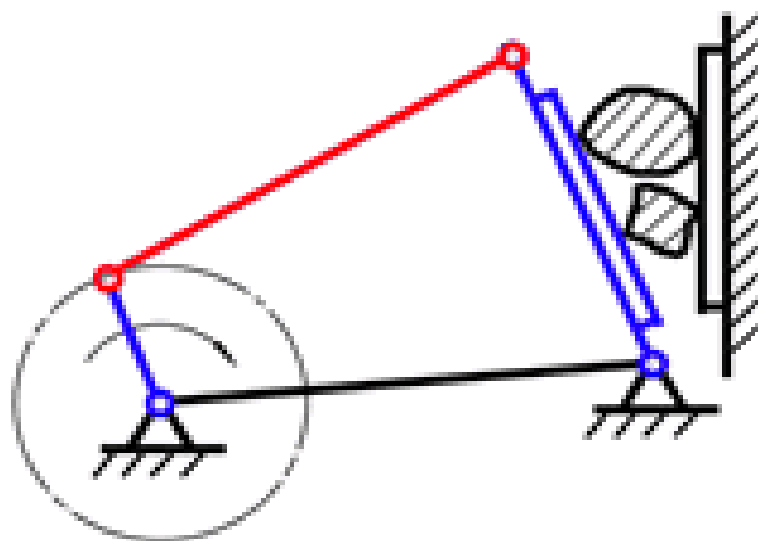


铸造用大型造型机翻箱机构





# 用电动机带动的曲柄摇杆机构： (以曲柄为主动件)



碎石机



# 连杆机构应用实例

## 加工核岛蒸汽发生器水室封头重载变位器



## 水室封头重载变位器

毛坯:200T

最终产品: 43.5T

直径 :4.3 m



## 任务分析

**目标：**设计核岛蒸发器下封头机械加工用变位机。

**目的：**配合数控落地铣镗床（具有三维移动自由度，刀具的轴线方向始终保持不变）完成下封头零件上接管口的精加工而设计的机床辅具。

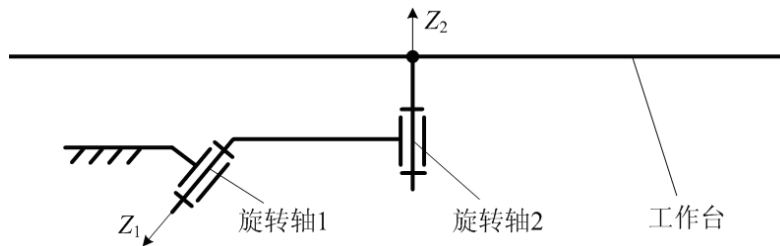
**任务：**实现依次将蒸发器下封头上的接管口变位到刀具的轴线方向，并在机械加工过程中始终保持工件的位姿不变。

**要求：**足够的刚度、定位精度和精度保持能力。

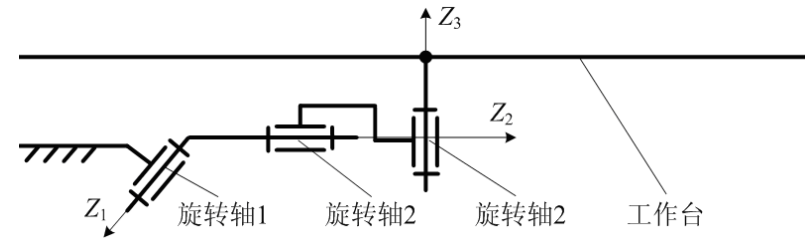


# 变位机的构型设计与分析

数控落地铣镗床的刀具轴线方向固定，变位机需要将蒸发器下封头的接管口轴线变换到刀具的轴线方向，为了完成变位工作，变位机**至少需要两个旋转自由度**。



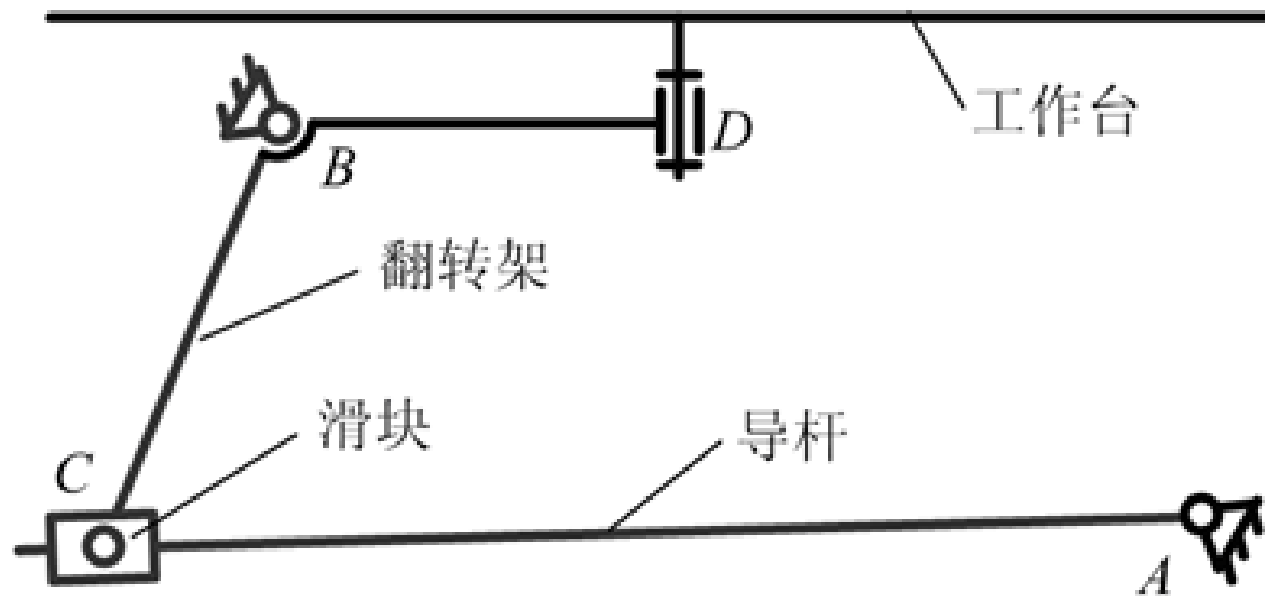
两自由度旋转变位机构结构  
原理图



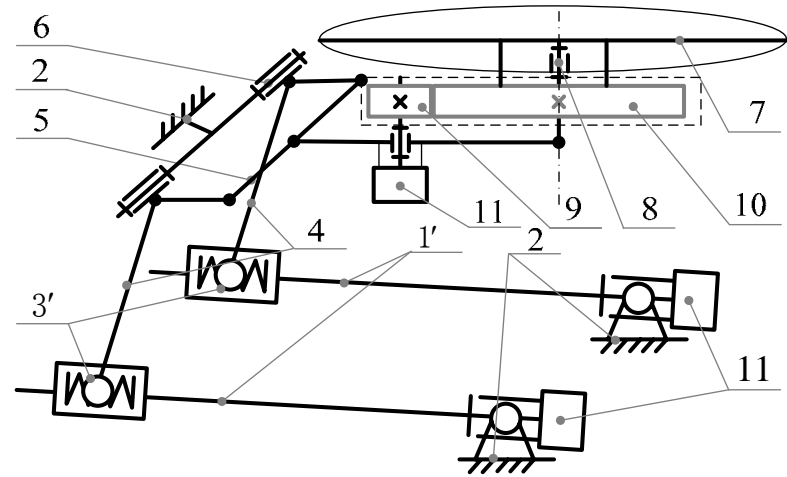
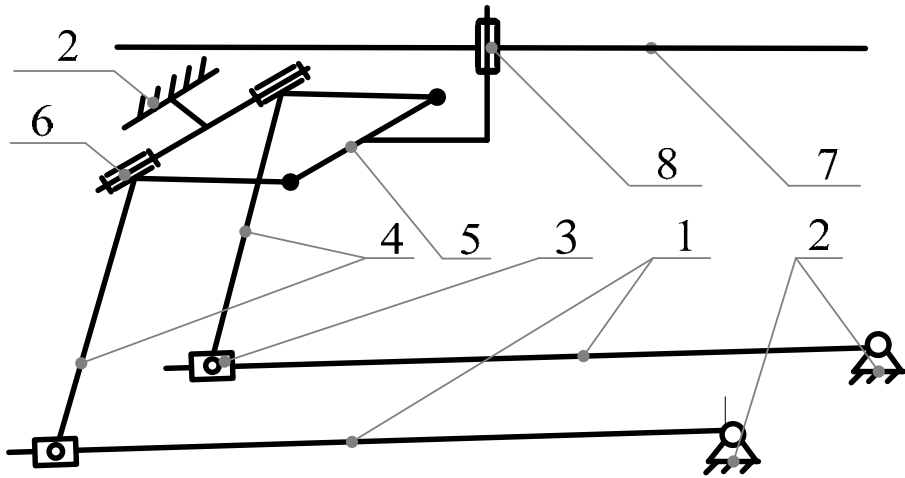
三自由度旋转变位机构结构  
原理图



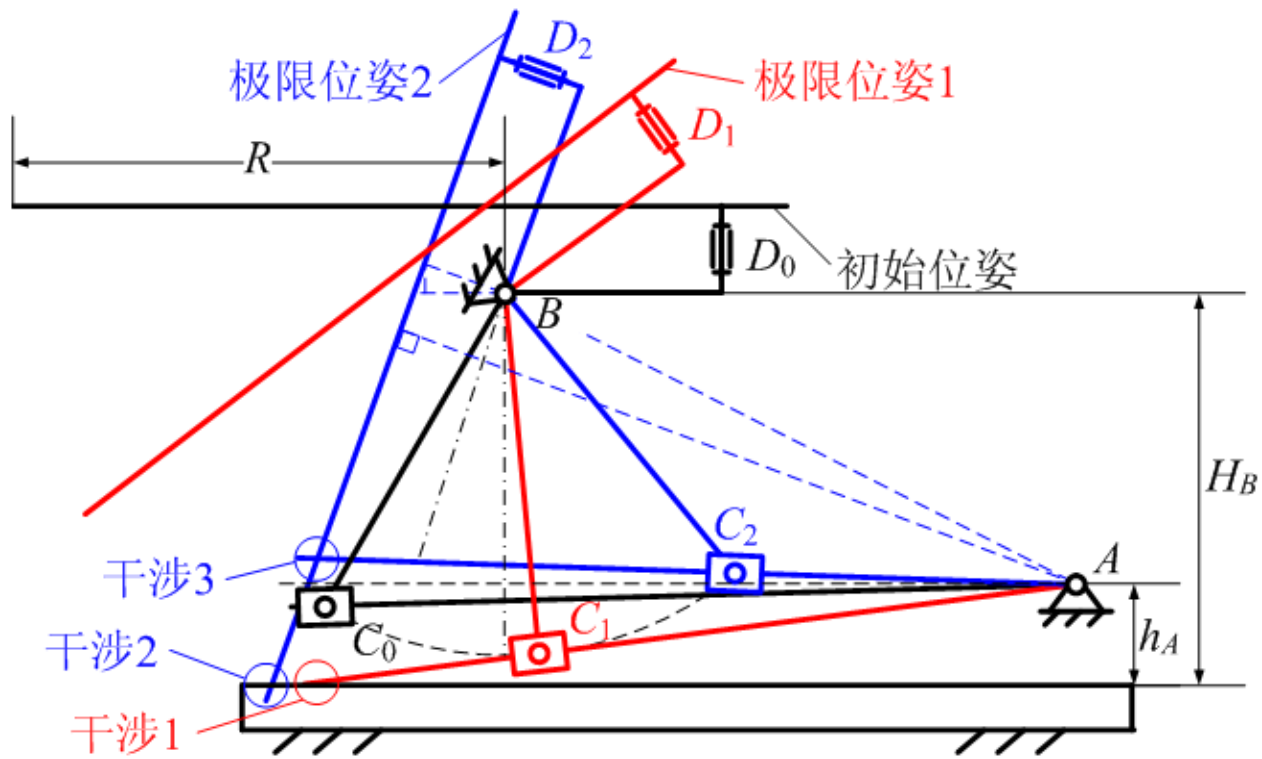
# 变位机的构型设计与分析



# 变位机的构型设计与分析

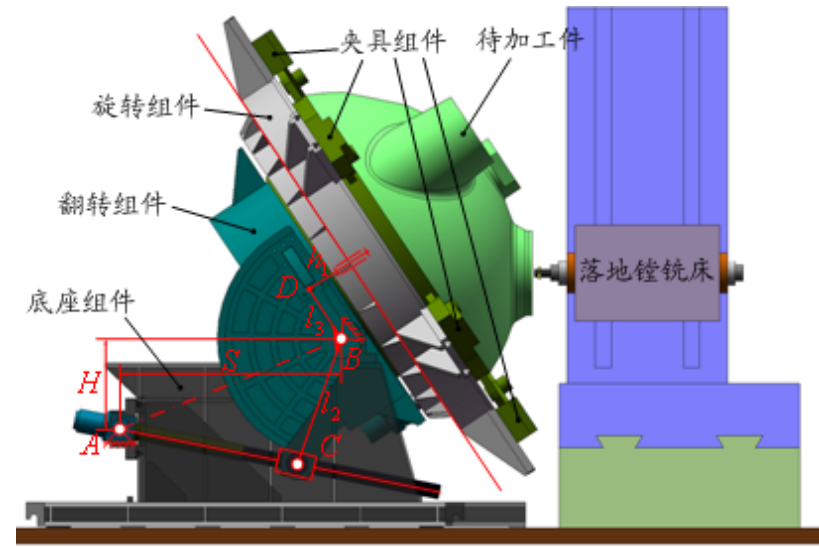
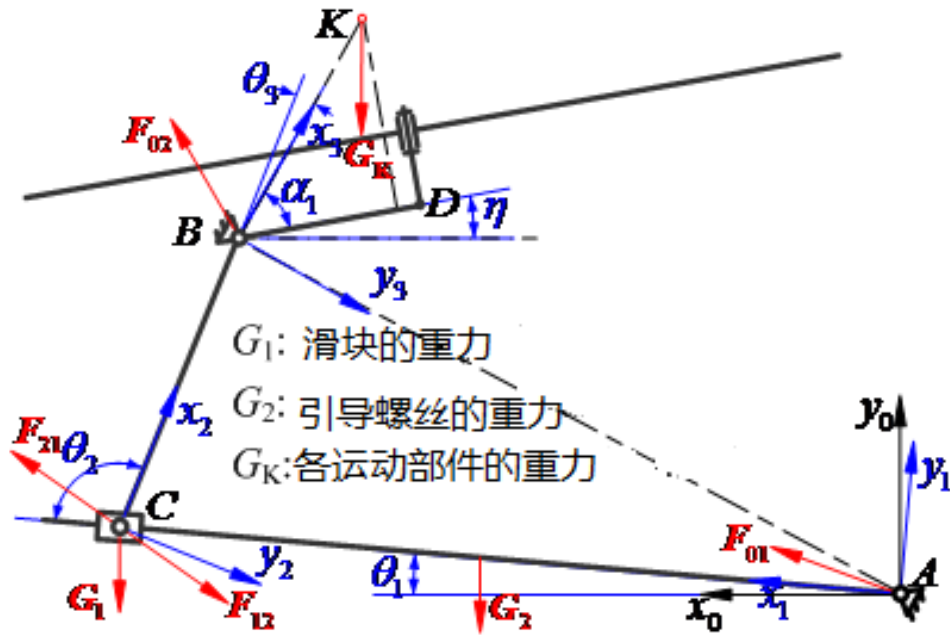


# 变位机机构尺寸优化





# 水室封头重载变位器



# 水室封头重载变位器



# 水室封头重载变位器



## 4.1.4 凸轮机构

### ➤ 凸轮机构

- 将旋转运动转变为比较短的直线往复运动
- 凸轮
- 从动件

### ➤ 功用

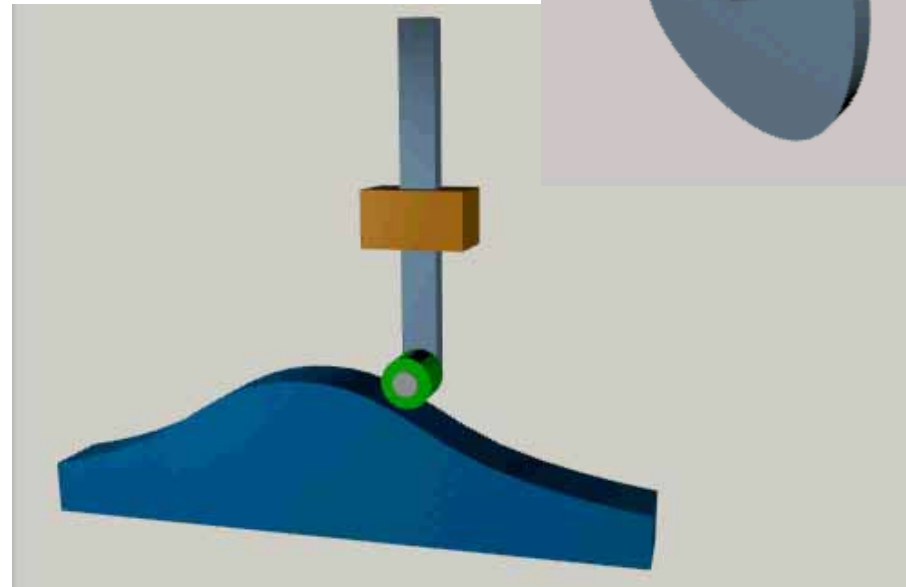
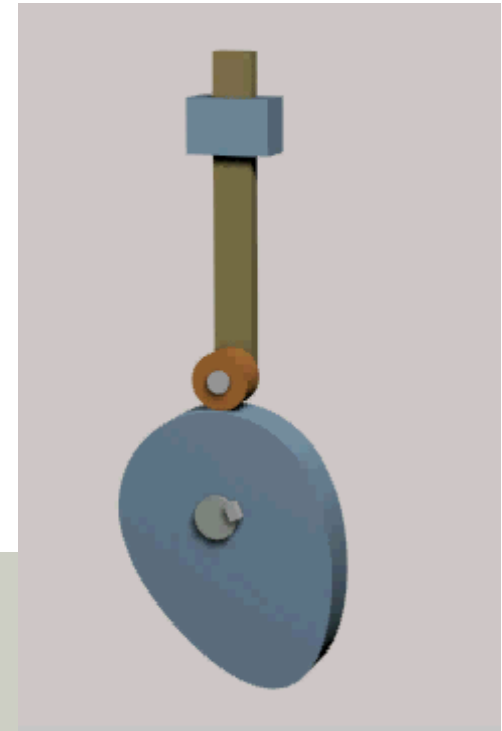
- 基于凸轮的轮廓

### ➤ 主动件分类

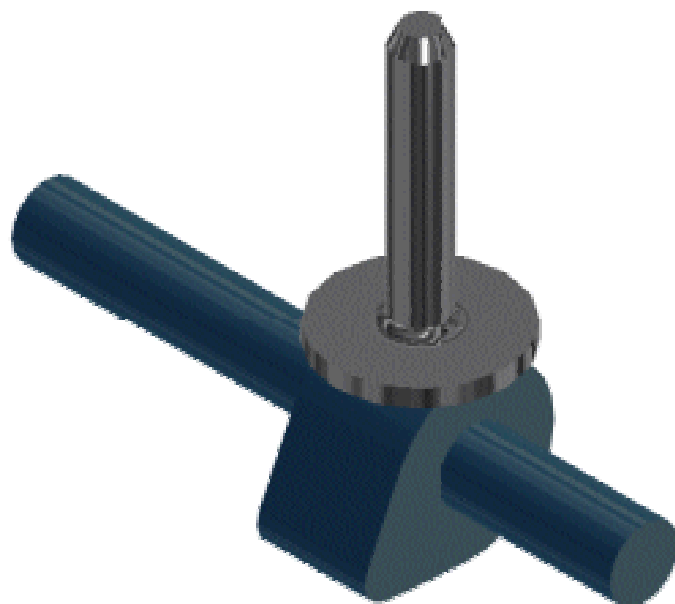
- 盘形
- 圆柱形

### ➤ 从动件分类

- 顶尖式
- 滚子式
- 平底式

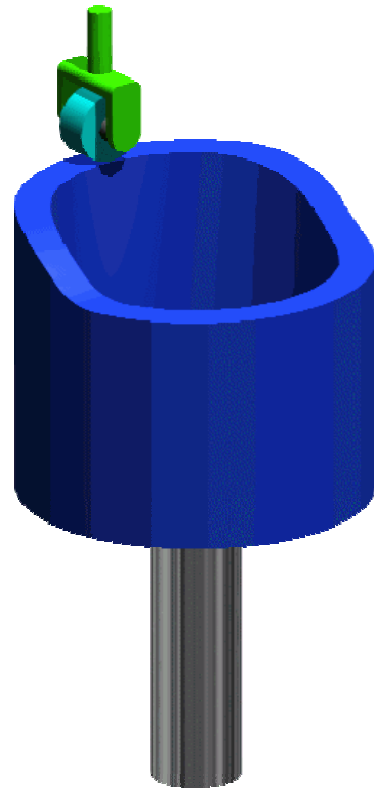


# 几种常见的凸轮机构



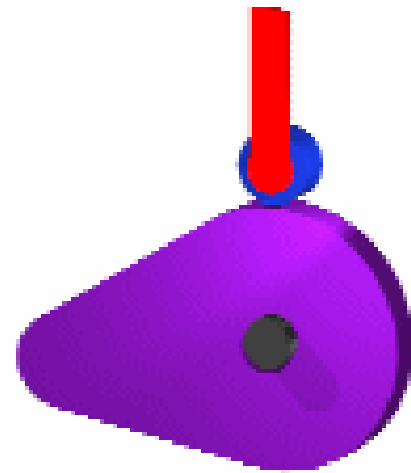
盘形凸轮和平底从动件





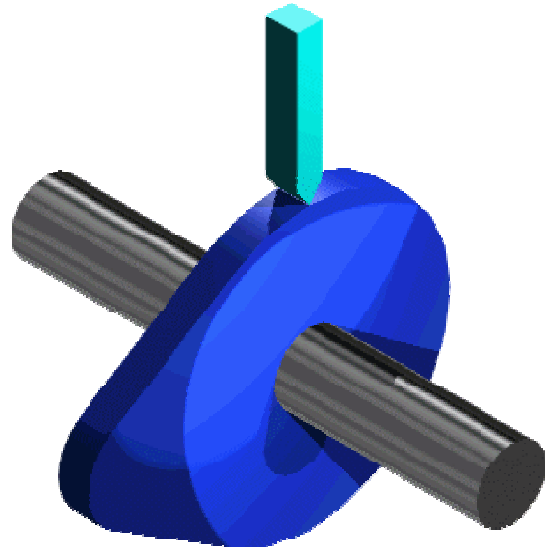
圆柱凸轮和滚子从动件





盘形凸轮和滚子从动件





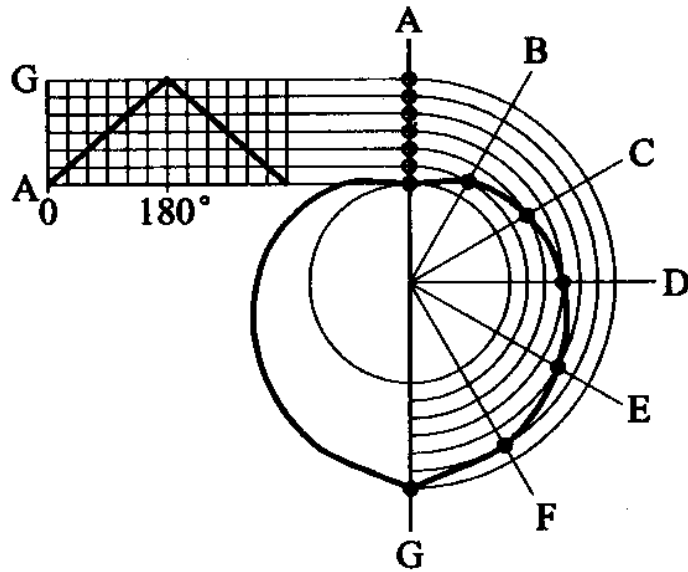
顶尖从动件的盘形凸轮



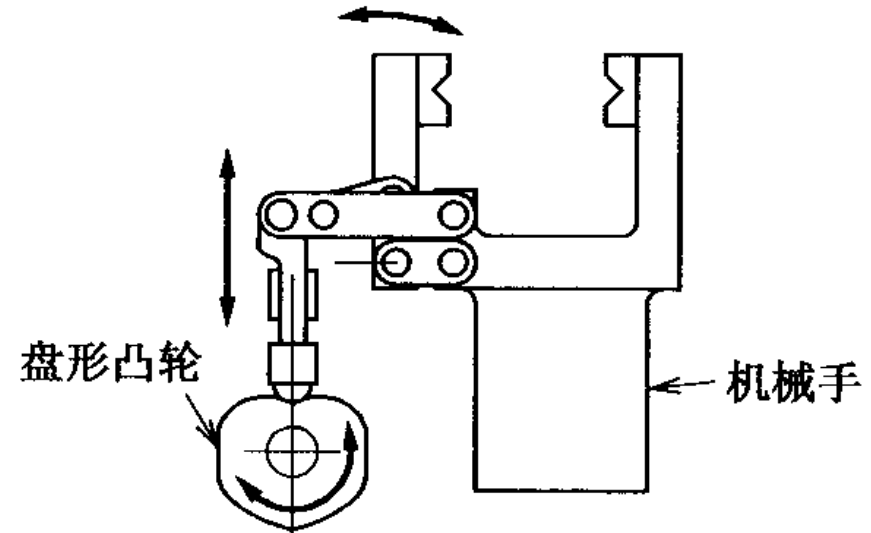


# 心形凸轮机构

## 凸轮机构选型与设计



(a) 心形机构



(b) 机械手的驱动



## 4.1.5 齿轮机构

齿轮系是历史悠久，至今应用也是最为广泛的一种机械传动机构。

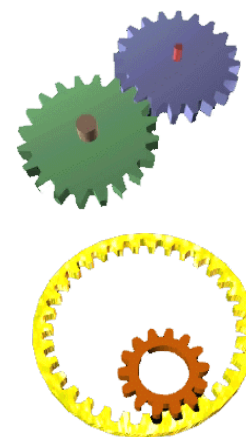
- **功用**：是按规定的速比传递运动和动力
- **特点**：工作可靠、传动比恒定、结构成熟，但制造复杂。



## 齿轮传动的类型与特点

### • 正齿轮（直齿圆柱齿轮）

- 较常见，价格低廉，高效
- 平行轴间传动
- 回转运动到回转运动
- 在中、低速精密传动中优先采用。



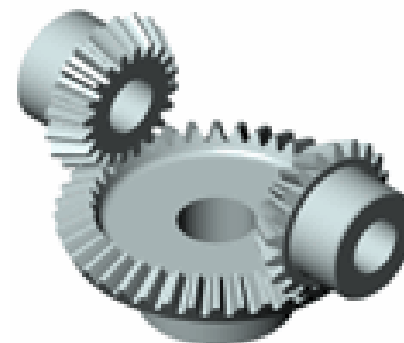
### • 斜齿轮

- 平行轴间传动
- 回转运动到回转运动
- 在中、高速传动中优先采用。



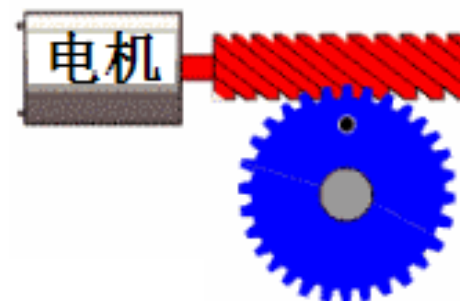
### • 圆锥齿轮

- 相交轴之间传输动力
- 适用于低速的直角传动。



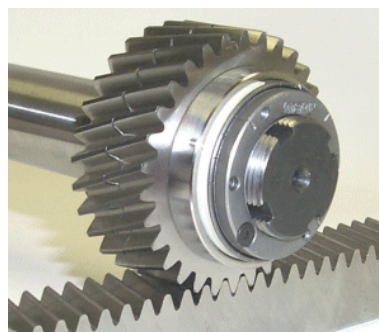
## • 蜗轮蜗杆传动

- 不相交的轴
- 高传动比
- “自锁”非反转
- 高摩擦损失

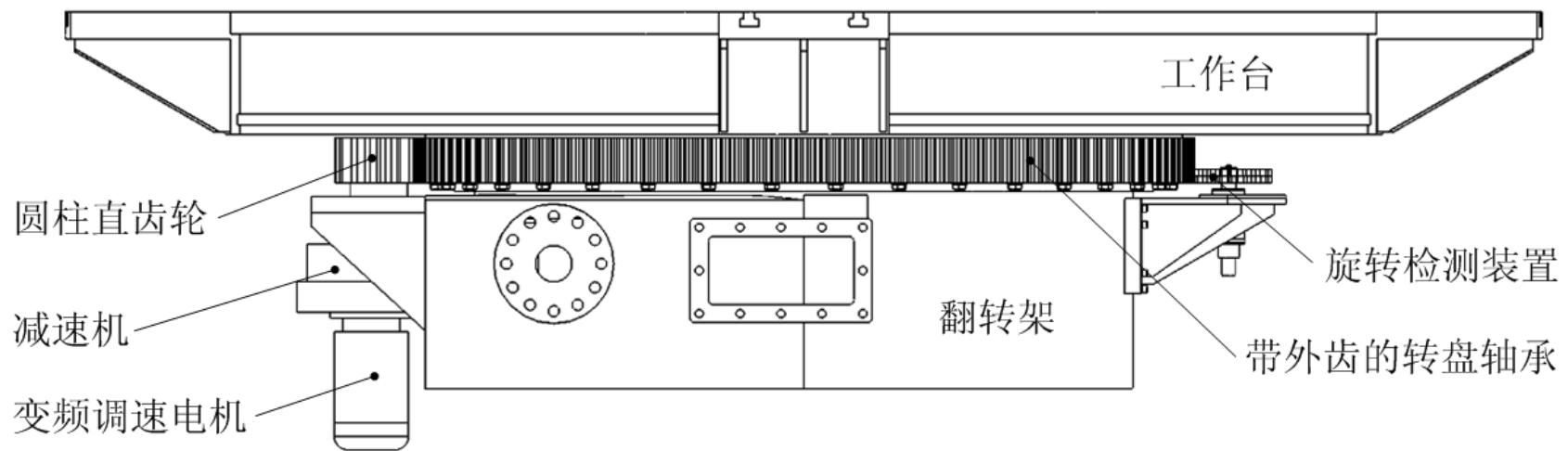


## • 齿轮齿条

- 旋转运动转化为直线运动



# 应用实例--变位机的旋转运动系统



变位机的旋转运动系统



# 应用实例--机械手手腕

