



# 有限元分析

## Finite Element Analysis

---

李立新  
机械设计研究所  
2023



## 6. 多体接触结构分析

---

- 多体接触结构分析分类
- 自由度耦合
- 线性方程约束
- 面 - 面接触 (约束为主型)
- 碰撞为主型多体接触分析



# 多体接触结构分析分类

---

- 什么场合需要多体接触有限元分析？
- 多体接触结构分析分类
  - 按接触特点分
    - 约束为主型（多为稳态分析，常用 Multiphysics ）
    - 碰撞为主型（瞬态分析，常用 LS-DYNA ）
  - 按接触描述方式分
    - 自由度耦合
    - 线性方程约束
    - 面 - 面接触



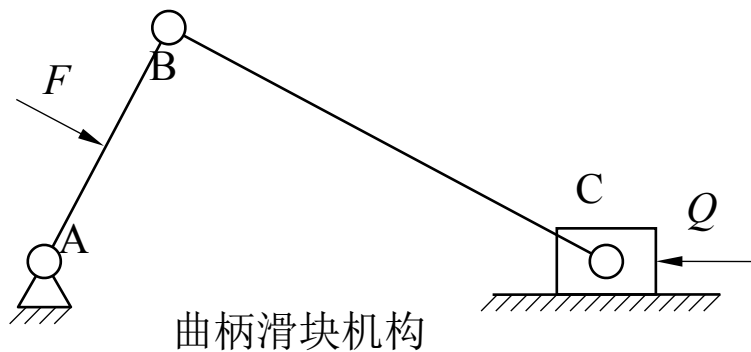
# 自由度耦合

---

- 含义
- 用途
  - 模拟回转副和球副
  - 模拟刚化
  - 模拟对称
- 局限
  - 只能模拟几种简单的运动副
  - 没有关于接触面的细节
  - 无法引入摩擦

# 自由度耦合

- 已知：曲柄 80mm，连杆 150mm，断面  $5 \times 15 \text{mm}^2$ ，弹性模量  $2 \times 10^5 \text{MPa}$ ，泊松比 0.3；阻力 1000N。试求：不计摩擦，垂直作用于曲柄中点的驱动力？曲柄的最大弯曲应力？



# 线性方程约束

- $xy$  平面上有三个动点 1、2 和 3 始终共线，且点 3 位于点 1 与点 2 之间，则

$$\frac{x_3 - x_1}{y_3 - y_1} = -\frac{x_3 - x_2}{y_3 - y_2} \Rightarrow (x_3 - x_1)(y_3 - y_2) + (x_3 - x_2)(y_3 - y_1) = 0$$

$$(x_3 - x_1)(dy_3 - dy_2) + (y_3 - y_2)(dx_3 - dx_1) \\ + (x_3 - x_2)(dy_3 - dy_1) + (y_3 - y_1)(dx_3 - dx_2) = 0$$

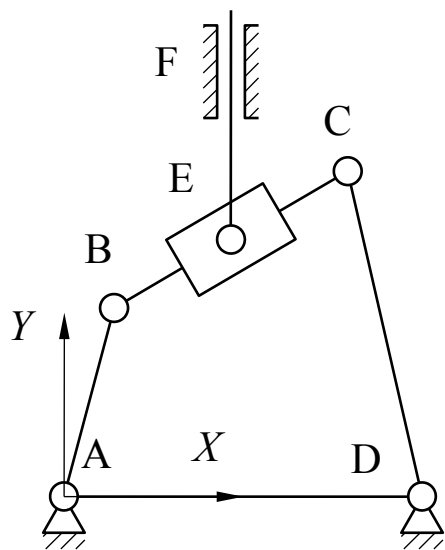
$$(y_2 - y_3)dx_1 + (x_2 - x_3)dy_1 + (y_1 - y_3)dx_2 + (x_1 - x_3)dy_2 \\ + (2y_3 - y_2 - y_1)dx_3 + (2x_3 - x_2 - x_1)dy_3 = 0$$

- 用于模拟移动副，但限小位移
- 用于模拟反对称等线性约束

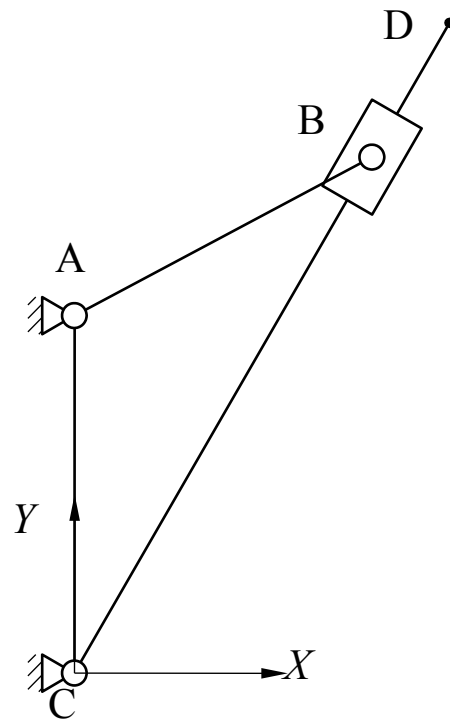
# 线性方程约束

$$(y_2 - y_3)dx_1 + (x_2 - x_3)dy_1 + (y_1 - y_3)dx_2 + (x_1 - x_3)dy_2 \\ + (2y_3 - y_2 - y_1)dx_3 + (2x_3 - x_2 - x_1)dy_3 = 0$$

$$-Y_B \cdot UX_D - X_B \cdot UY_D + (2Y_B - Y_D)UX_B + (2X_B - X_D)UY_B = 0$$



平面六杆机构



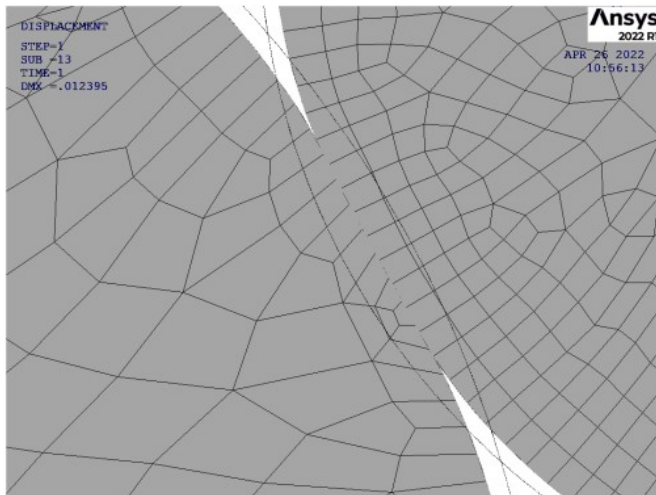
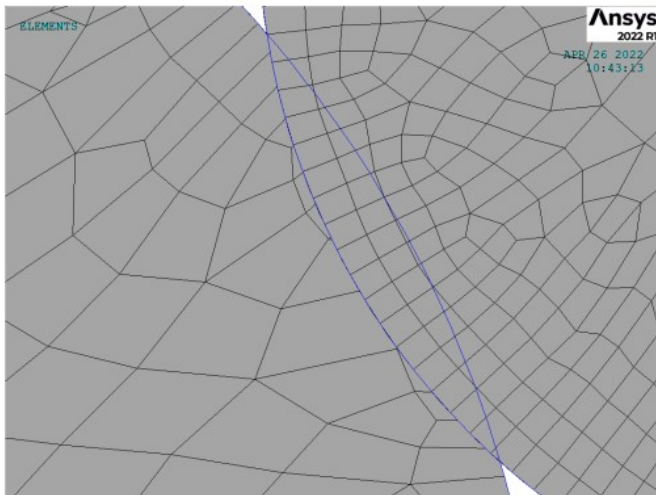
平面转动导杆机构

$$(Y_C - Y_E)UX_B + (X_C - X_E)UY_B + (Y_B - Y_E)UX_C \\ + (X_B - X_E)UY_C + (2X_E - X_C - X_B)UY_E = 0$$

# 面 - 面接触 (约束为主型)

## ■ 几个关键概念

- 分网之后接触对：表层单元
  - TARGET170 ( TARGET169 )
  - CONTA173 , CONTA174 ( CONTA171 , CONTA172 )
- 下层单元 ( FTOLN=0.1 的含义)
- 试加载→变形→调整载荷→调整变形→变形协调





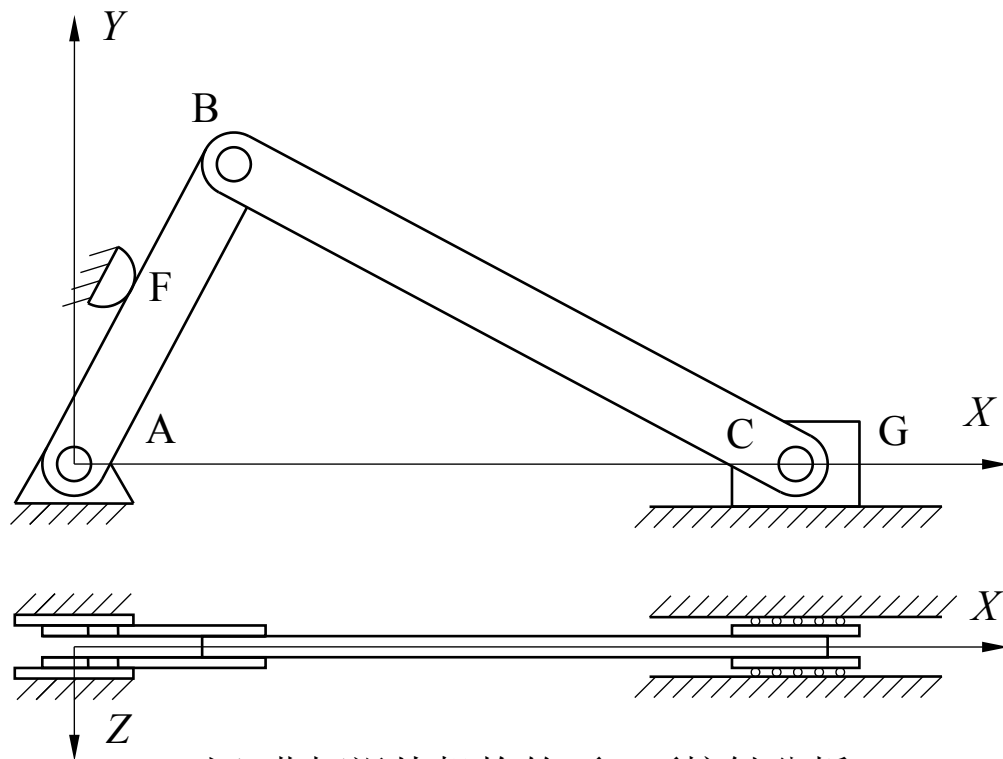


# 面 - 面接触（约束为主型）

- 因要计算接触单元侵入目标单元的深度，所以
  - 凸表面（或边线）与一个平或凹表面（或边线）构成接触对时，后者为目标
  - 网格相对精细的表面（或边线）与网格相对粗糙的表面（或边线）构成接触对时，后者为目标
  - 刚度小的表面（或边线）与刚度大的（或边线）构成接触对时，后者为目标
  - 下层单元采用高次单元的表面（或边线）与低次单元的表面（或边线）构成接触对时，后者为目标
  - 小或被包围的表面（或边线）与大或包围的表面（或边线）构成接触对时，后者为目标
- 摩擦模拟  $\mu = \mu_d [1 + (K - 1)e^{-kV}]$

# 面 - 面接触 (约束为主型)

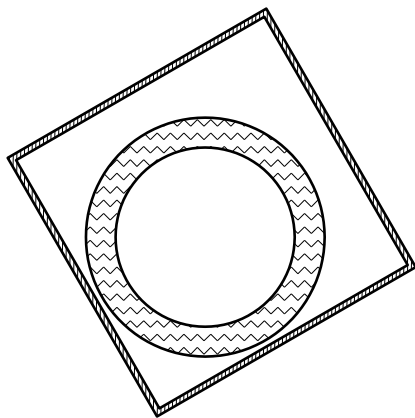
- 如下图，各杆尺寸已知，各接触面之间的摩擦系数为 0.1；滑块 G 的右侧强制向左发生的位移为 0.2mm。试求各构件中的应力分布以及 F 处的接触应力？



对心曲柄滑块机构的面 - 面接触分析

# 碰撞为主型多体接触分析

- 各件尺寸与材质已知，初速  $10000\text{mm/s}$  无转动；铝环最下角点刚好位于钢片上边中点之上，距离  $0.1\text{mm}$ ，即将与钢片发生碰撞；方形铝环的一边与水平面正好夹成  $30^\circ$  角，而橡胶圆环与方形铝环内边分别相距  $1\text{mm}$ 。假定三个物体间的静摩擦系数均为  $0.2$ ，动摩擦系数均为  $0.1$ ，试分析从图示位置开始的  $0.01$  秒内发生的碰撞情况。



基于 ANSYS LS-DYNA 的显式动力学分析