

【SAP2000与结构力学】系列课程

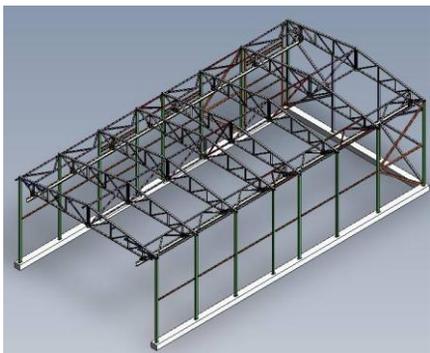
# SAP2000 框架（刚架）结构分析

主讲人：张志国

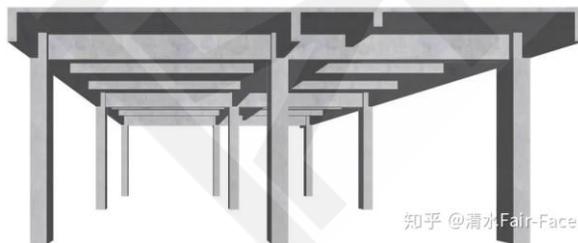
北京筑信达工程咨询有限公司

2024年5月22日

## 空间框架结构



单层单跨钢结构厂房



知乎 @清水Fair-Face

混凝土房屋结构

筑信达

## 空间框架结构



钢框架结构



钢框架结构

筑信达

## 空间框架结构



钢框架结构



钢框架结构

筑信达

## 空间框架结构

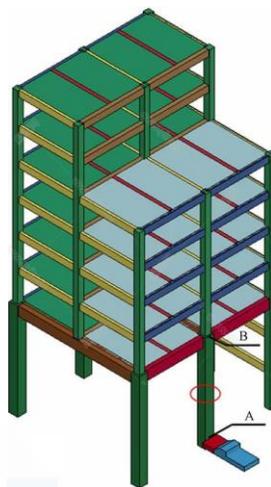
刚架（框架）：由直杆（梁或柱）通过**刚节点**相连而组成的结构。

优点：

- ✓ 刚度大，整体性好；
- ✓ 内力分布均匀，受力合理；
- ✓ 建筑平面布置灵活，有效利用大空间。

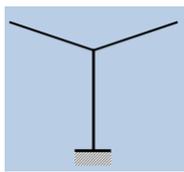
缺点：

- ✓ 侧向刚度较小，不利于抗震；
- ✓ 建筑高度受限（15~20层）。

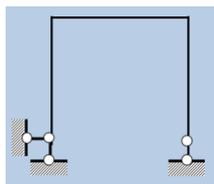


筑信达

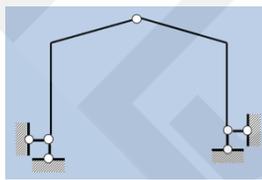
## 平面静定刚架



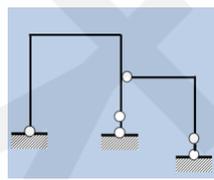
悬臂刚架



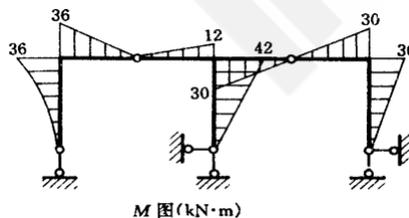
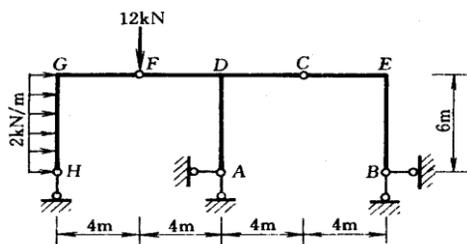
简支刚架



三铰刚架



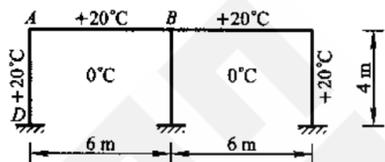
主从刚架



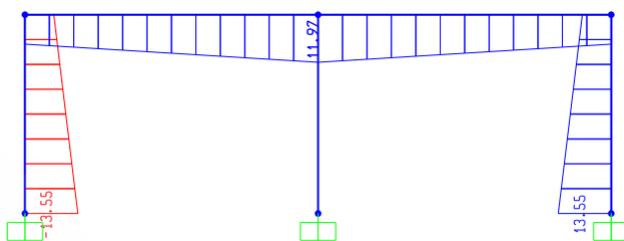
筑信达

## 平面超静定刚架

8-14 刚架温度变化如图所示,试作其弯矩图。各杆均为矩形截面,高度  $h = 0.4 \text{ m}$ ,  
 $EI = 2 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$ ,  $\alpha = 1 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ 。



$$\begin{aligned} M_{AB} &= 7.40 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ M_{BA} &= -11.97 \text{ kN} \cdot \text{m} \\ M_{DC} &= 13.55 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{aligned}$$

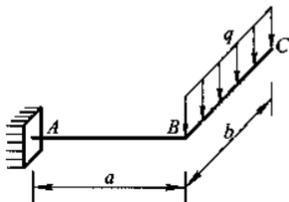


温度作用产生的弯矩图

筑信达

## 空间静定刚架

6-25 图为一水平面内的刚架,  $\angle ABC = 90^\circ$ , BC 杆上承受竖向均布荷载  $q$ 。试求 C 点竖向位移。已知  $q = 2 \text{ kN/m}$ ,  $a = 0.6 \text{ m}$ ,  $b = 0.4 \text{ m}$ , 各杆均为直径  $d = 30 \text{ mm}$  的圆钢,  $E = 210 \text{ GPa}$ ,  $G = 80 \text{ GPa}$ 。



$$\frac{qb}{EI} \left( \frac{b^3}{8} + \frac{a^3}{3} \right) + \frac{qb^3 a}{2GI} = 13.7 \text{ mm}$$

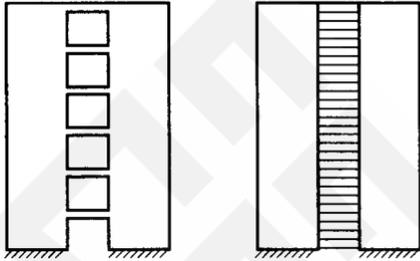
平面刚架+空间荷载

对于空间刚架,在式(6-21)中一般可略去剪力及轴力的影响,但除弯矩外通常还须考虑扭矩的影响。

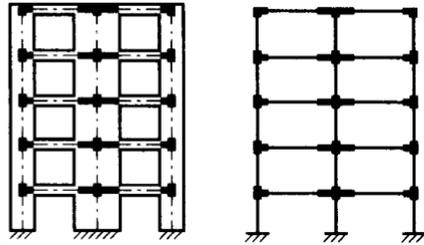
筑信达

## 端部偏移

### ❖ 节点刚域



壳单元（墙肢）+ 框架单元（连梁）

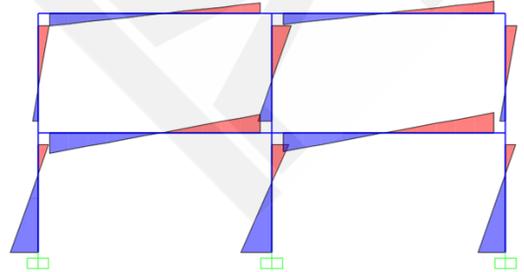
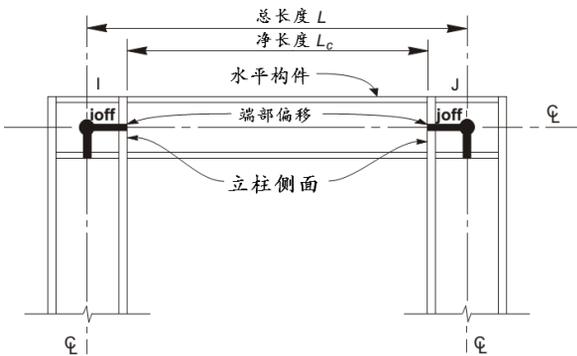


框架单元+刚域（壁式框架）

筑信达

## 端部偏移

### ❖ 内力输出位置

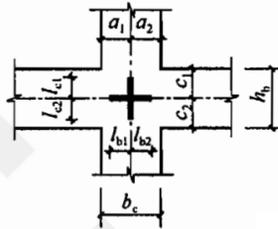
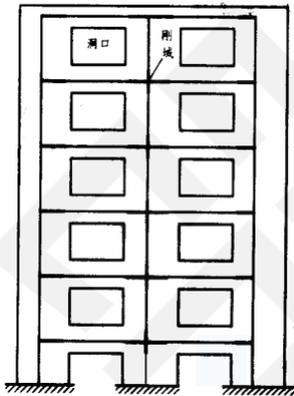


平面框架弯矩图

筑信达

## 端部偏移

### ❖ 结构整体刚度

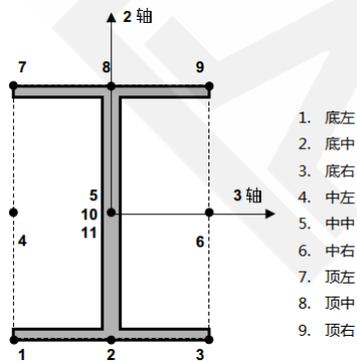
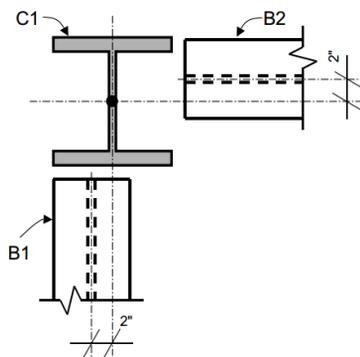


《高层建筑混凝土结构技术规程 JGJ 3-2010》

筑信达

## 插入点

### ❖ 构件之间的偏心连接

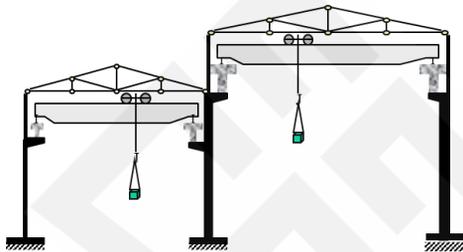


1. 底左
2. 底中
3. 底右
4. 中左
5. 中中
6. 中右
7. 顶左
8. 顶中
9. 顶右

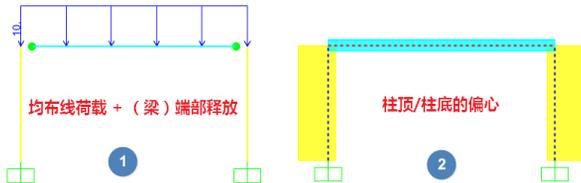
筑信达

## 插入点

### ❖ 构件之间的偏心连接



两跨不等高排架结构

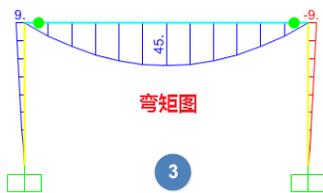


1



2

跨度6m, 柱顶偏心0.3m

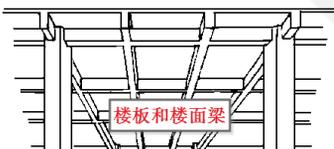


3

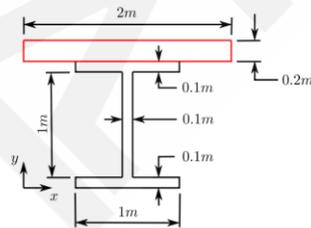
筑信达

## 插入点

### ❖ 构件之间的偏心连接



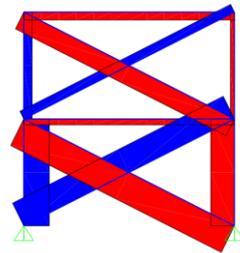
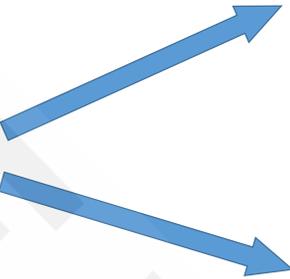
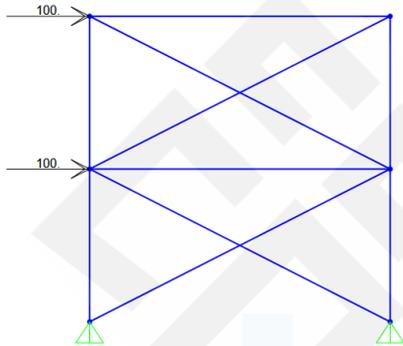
梁-板组合截面



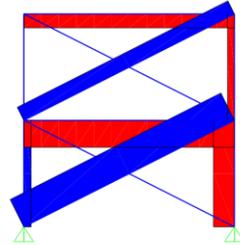
筑信达

## 拉压限值

### ❖ 单拉支撑



拉压支撑 (线性分析)



单拉支撑 (非线性分析)

筑信达

## 对称性

### ❖ 对称结构

- 结构的几何形状对称
- 结构的支座条件对称
- 构件的刚度对称

对称结构+正对称荷载

→ 反力、内力和位移正对称

对称结构+反对称荷载

→ 反力、内力和位移反对称



筑信达

## 对称性

### ❖ 对称结构

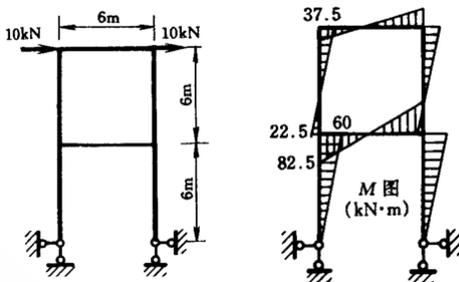
- 结构的几何形状对称
- 结构的支座条件对称
- 构件的刚度对称

对称结构+正对称荷载

→ 反力、内力和位移正对称

对称结构+反对称荷载

→ 反力、内力和位移反对称



对称结构+反对称荷载

筑信达

## 对称性

### ❖ 对称结构

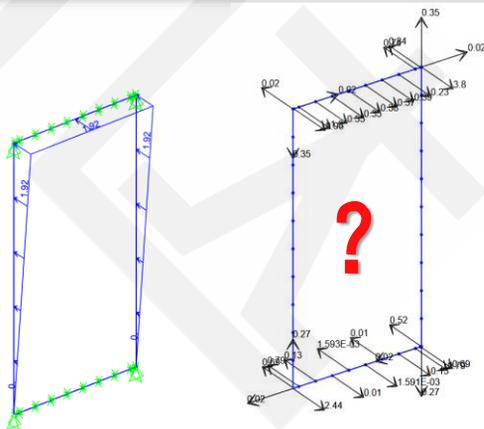
- 结构的几何形状对称
- 结构的支座条件对称
- 构件的刚度对称

对称结构+正对称荷载

→ 反力、内力和位移正对称

对称结构+反对称荷载

→ 反力、内力和位移反对称

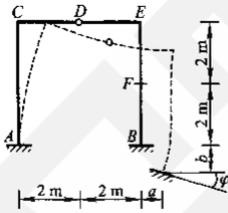


对称结构+对称荷载

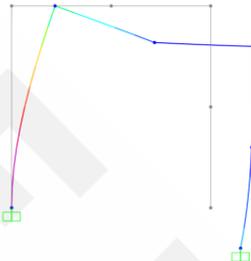
筑信达

## 支座位移荷载

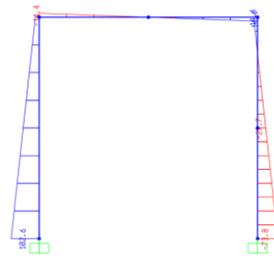
7-30 图示结构的支座 B 发生了水平位移  $a = 30 \text{ mm}$  (向右),  $b = 40 \text{ mm}$  (向下),  $\varphi = 0.01 \text{ rad}$ , 已知各杆的  $I = 6400 \text{ cm}^4$ ,  $E = 210 \text{ GPa}$ 。试: (a) 作  $M$  图; (b) 求 D 点竖向位移及 F 点水平位移。



$M_{AC} = 102.6 \text{ kN}\cdot\text{m}$  (左侧受拉)  
 $\Delta_b = 36.3 \text{ mm}$  ( $\downarrow$ )  
 $\Delta_F = 41.2 \text{ mm}$  ( $\rightarrow$ )



变形图

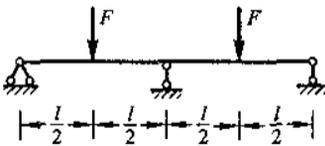


弯矩图

筑信达

## 支座位移荷载

7-31 图示连续梁为 28a 号工字钢,  $I = 7114 \text{ cm}^4$ ,  $E = 210 \text{ GPa}$ ,  $l = 10 \text{ m}$ ,  $F = 50 \text{ kN}$ 。若欲使梁内最大正、负弯矩的绝对值相等, 试问应将中间支座升高或降低若干?



降低 23.2 mm



$93.75 - 0.448x = 78.13 + 0.224x$   
 集中力产生的弯矩图  
 $x = (93.75 - 78.13) / 0.672 = 23.244 \text{ mm}$

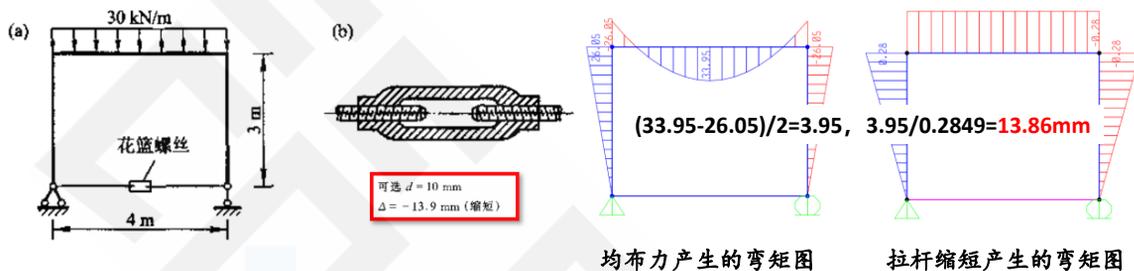


支座位移产生的弯矩图

筑信达

## 变形荷载

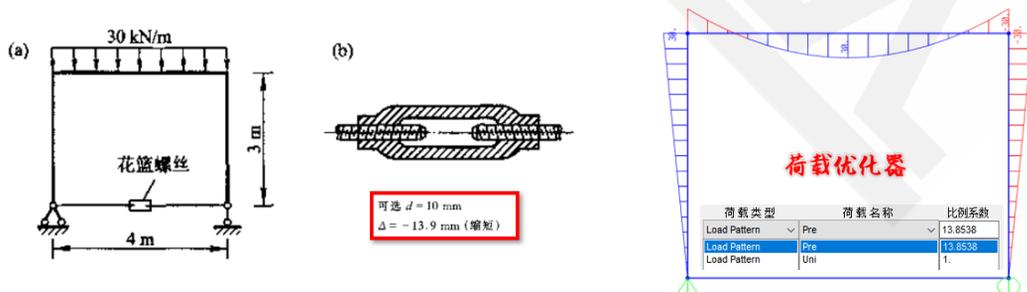
7-32 图 a 为一带拉杆的刚架, 拉杆上装有带正反螺纹的花篮螺丝(图 b), 转动螺母可以改变拉杆长度以调整结构的内力。横梁、立柱均为 20b 工字钢,  $I = 2\ 500\text{ cm}^4$ , 拉杆为圆钢, 材料的  $E = 210\text{ GPa}$ , 容许应力  $[\sigma] = 160\text{ MPa}$ 。若欲使刚架的最大正、负弯矩的绝对值相等, 试设计拉杆直径  $d$  并确定螺丝调整量  $\Delta$ 。



筑信达

## 变形荷载

7-32 图 a 为一带拉杆的刚架, 拉杆上装有带正反螺纹的花篮螺丝(图 b), 转动螺母可以改变拉杆长度以调整结构的内力。横梁、立柱均为 20b 工字钢,  $I = 2\ 500\text{ cm}^4$ , 拉杆为圆钢, 材料的  $E = 210\text{ GPa}$ , 容许应力  $[\sigma] = 160\text{ MPa}$ 。若欲使刚架的最大正、负弯矩的绝对值相等, 试设计拉杆直径  $d$  并确定螺丝调整量  $\Delta$ 。



筑信达

# 谢 谢

**“The idea that an expert-system computer program, with artificial intelligence, will replace a **creative human** is an insult to all structural engineers.”**



加州大学伯克利分校终身名誉教授 Edward L.Wilson (著名的结构分析设计软件 SAP 的创始人) 在《Three Dimensional Static and Dynamic Analysis Of Structures》(<http://www.edwilson.org/Book/book.htm#Personal>) 一书中提到:

"Don't use a structural analysis program unless you fully understand the theory and approximations used within the program"

"Don't create a computer model until the loading, material properties and boundary conditions are clearly defined"