

【SAP2000与结构力学】系列课程

SAP2000 基本力学概念

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

目录

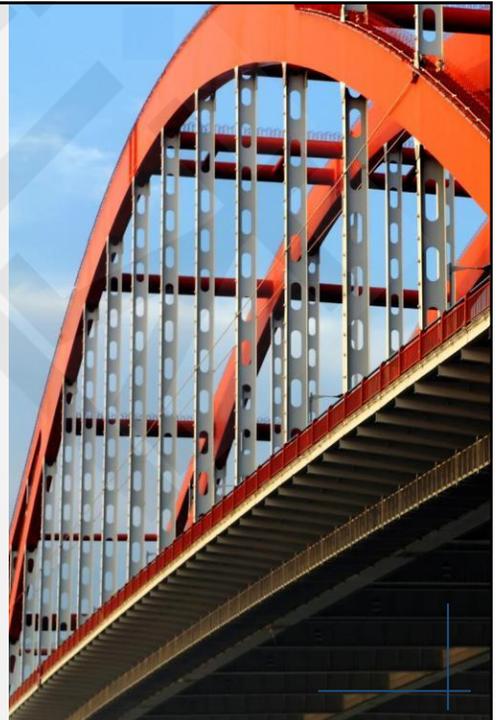
SAP2000与有限单元法

几何构造分析（机动分析）

瞬变体系与大位移效应

静定与超静定结构

支座与节点的类型



1

SAP2000与有限单元法



筑信达

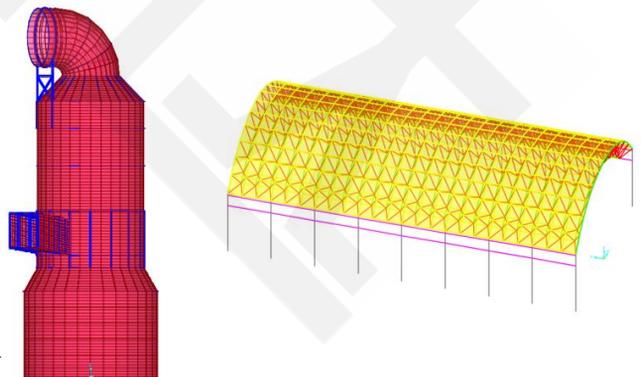
有限单元法

❖ 基本思想：化整为零

- 单元分析→整体分析
- 矩阵位移法→有限单元法
- 结构力学→弹性力学

❖ 理论基础

- 结构力学：直接刚度法
- 固体力学：虚位移原理/最小势能原理
- 多物理场：变分原理/泛函分析

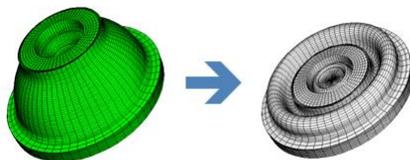


筑信达

有限单元法

❖ 纵向发展

- 平面问题 → 空间问题 / 板壳问题
- 线性分析 → 几何非线性 / 材料非线性等
- 弹性分析 → 弹塑性分析 / 粘弹性分析等
- 静力分析 → 模态分析 / 反应谱分析 / 时程分析
- 连续介质力学 → 断裂力学 / 损伤力学

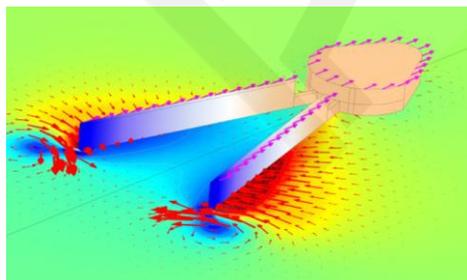


筑信达

有限单元法

❖ 横向发展

- 固体力学 → 流体力学 / 热力学 / 电磁学 / 声学
- 建筑结构 → 航空航天 / 军工 / 汽车 / 船舶 / 电子领域
- 单一物理场 → 多物理场耦合
 - ✓ 流固耦合 (水利工程...)
 - ✓ 热-固耦合 (岩土工程...)
 - ✓ 电磁耦合 (电子工程...)
 - ✓ 声-固耦合 (机械工程...)

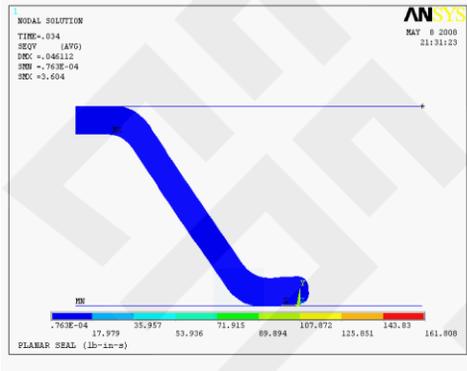


筑信达

有限元软件

通用的多物理场有限元软件

ANSYS ABAQUS ADINA ...

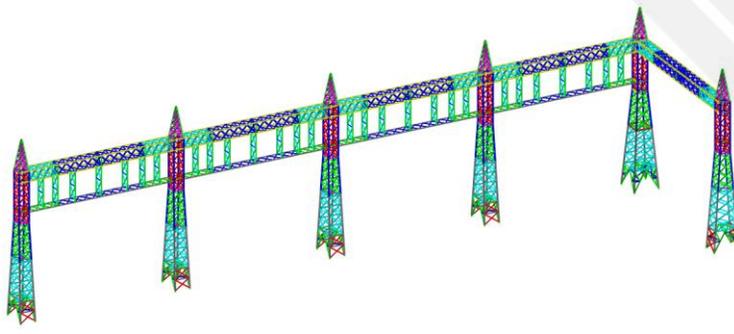


筑信达

有限元软件

通用的建筑结构分析与设计软件

SAP2000 ETABS ...

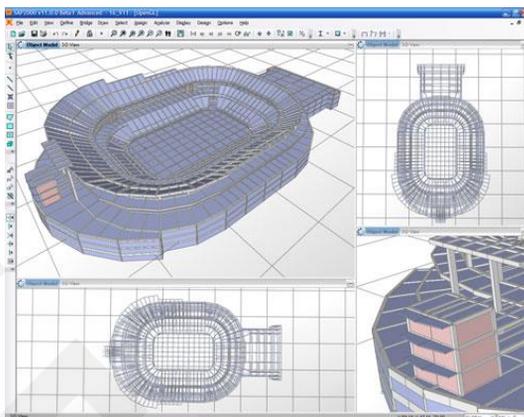


筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

❖ 集成化的工作环境

- 创建或导入几何模型
- 定义并指定构件属性
- 施加荷载与求解设置
- 结构分析与结构设计
- 结果后处理

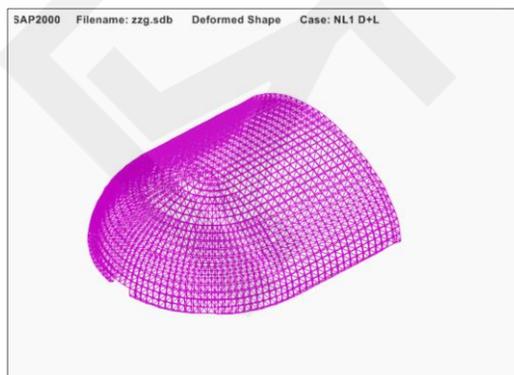


筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

❖ 高效稳定的结构分析功能

- 几何非线性分析、材料非线性分析
- 模态分析和反应谱分析
- 时域分析和频域分析
- 稳定性分析、Pushover 分析
- 阶段施工分析、移动荷载分析
- ...

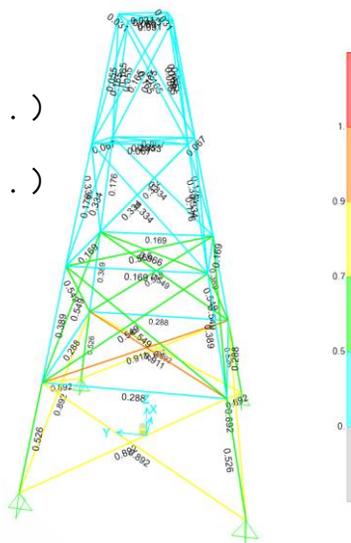


筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

❖ 一体化的结构设计功能

- 多种结构类型 (混凝土结构、钢结构...)
- 多国设计规范 (中国规范、欧美规范...)
- 交互式的配筋计算与截面校核
- 自动的钢结构优化设计
- 详细的设计结果输出
- ...



筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

前处理

- 布置轴网
- 定义材料/截面
- 几何建模
- 指定属性
- 施加荷载

分析求解

- 定义荷载工况
- 设置分析选项
- 运行结构分析

后处理

- 图形显示
- 表格输出
- 运行结构设计

筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

❖ 发展历程

1969年，美国加州大学伯克利分校的 Wilson 教授开发了针对结构静力与动力分析的计算机程序 SAP。

1973年，Bathe 博士 **ADINA** 动力求解器，使其发展成为当时世界上最高效的结构分析程序 SAP4。

1978年，Wilson 教授的学生 Ashraf 创建 CSI 公司，致力于 SAP2000、ETABS、SAFE 等建筑结构分析与设计软件的开发、维护及售后服务。

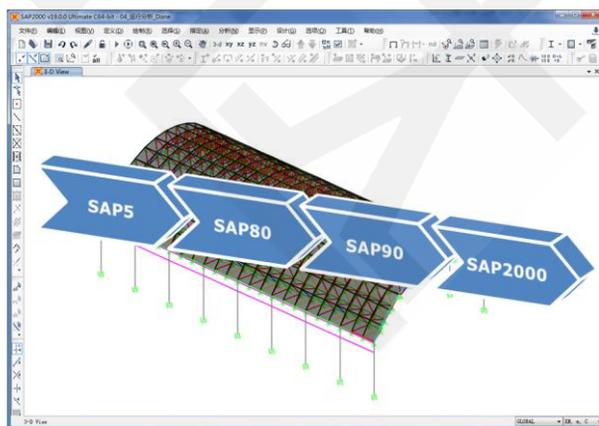
筑信达

功能概述 SAP2000 (Structure Analysis Program)

❖ 发展历程

1996年，CSI 公司发布了第一个完全集成于 Windows 的 SAP 版本 SAP2000。

当前最新版本为 v23.1.0。



筑信达

2

几何构造分析（机动分析）

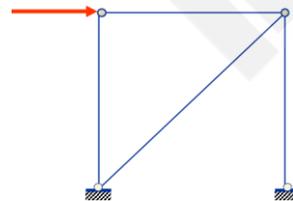
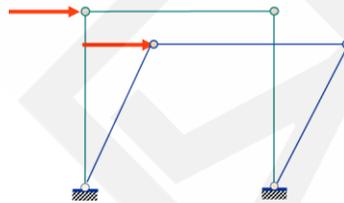


筑信达

几何构造分析

❖ 基本概念

- 结构：几何不变体系
 - 静定结构：无多余约束
 - 超静定结构：有多余约束
- 机构：几何可变体系
 - 常变体系
 - 瞬变体系
- 计算自由度 > 0 → 几何可变体系
- 计算自由度 ≤ 0 ← 几何不变体系



筑信达

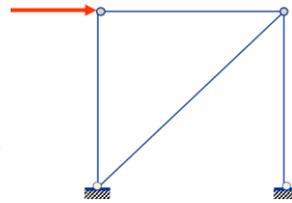
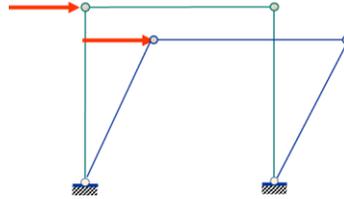
几何构造分析

❖ SAP2000 警告信息

- 定性判断几何构造
- 无法执行理论分析

```
*** WARNING ***
THE STRUCTURE IS UNSTABLE OR ILL-CONDITIONED !!
CHECK THE STRUCTURE CAREFULLY FOR:
- INADEQUATE SUPPORT CONDITIONS, OR
- ONE OR MORE INTERNAL MECHANISMS, OR 机构
- ZERO OR NEGATIVE STIFFNESS PROPERTIES, OR
- EXTREMELY LARGE STIFFNESS PROPERTIES, OR
- BUCKLING DUE TO P-DELTA OR GEOMETRIC NONLINEARITY, OR
- A FREQUENCY SHIFT (IF ANY) ONTO A NATURAL FREQUENCY

TO OBTAIN FURTHER INFORMATION:
- USE THE STANDARD SOLVER, OR
- RUN AN EIGEN ANALYSIS USING AUTO FREQUENCY SHIFTING (WITH
  ADDITIONAL MASS IF NEEDED) AND INVESTIGATE THE MODE SHAPES
```

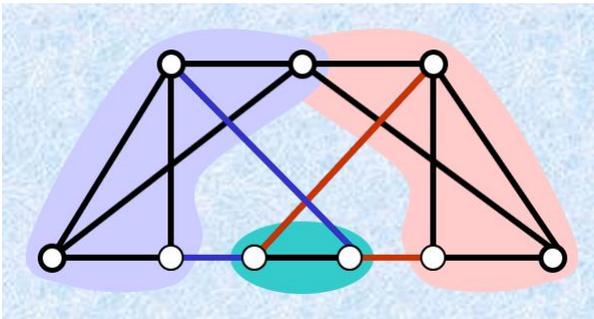


筑信达

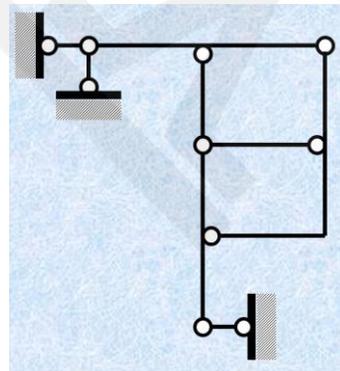
几何构造分析

❖ 平面体系的机动分析

- 几何不变体系？存在多余约束？



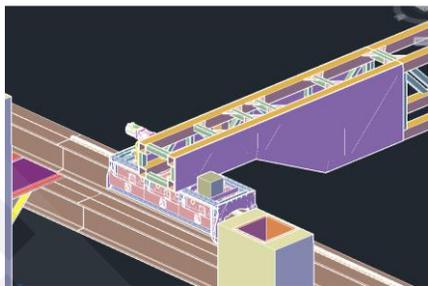
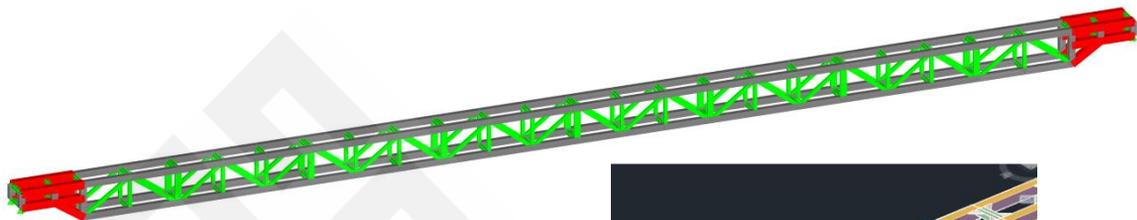
无多余约束的几何不变体系



筑信达

几何构造分析

❖ 工程实例（桁架式天车）



筑信达

3

瞬变体系与大位移效应

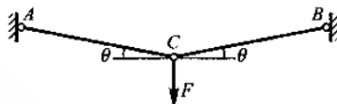
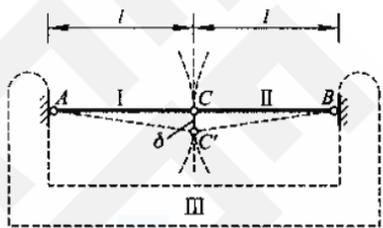


筑信达

瞬变体系与大位移效应

瞬变体系

- 几何可变体系 → **微小位移** → 几何不变体系
- 杆系结构 (不可用), 索结构 (可用, **非线性分析**)

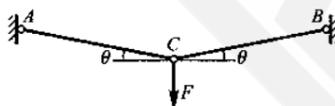
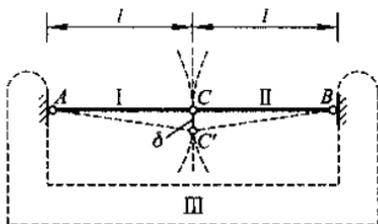


筑信达

瞬变体系与大位移效应

小变形假定

- 材料力学和结构力学中**线性分析**的基本假定
- 结构变形与原始尺寸相比可略去不计, 以**原始尺寸**计算内力和变形。



静力平衡方程: $F_N = \frac{F}{2\sin\theta}$

筑信达

瞬变体系与大位移效应

❖ 几何非线性

- 大位移效应：根据结构**变形后的尺寸**计算内力和变形。

以变形后的尺寸考虑

理论
解答

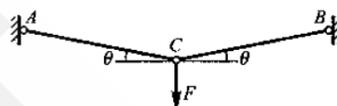
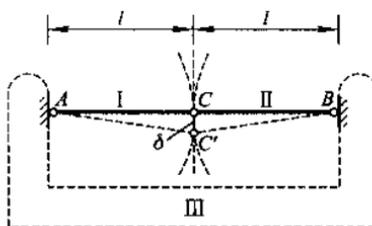
- 静力平衡方程： $F_N = \frac{F}{2\sin\theta}$

- 几何协调方程： $\Delta l = \frac{l}{\cos\theta} - l$

- 物理方程： $F_N = EA \frac{\Delta l}{l}$

联立以上三个方程，则有： $F = 2EA(\tan\theta - \sin\theta)$ 。

非线性关系： $F \sim \theta$



筑信达

4

静定与超静定结构



筑信达

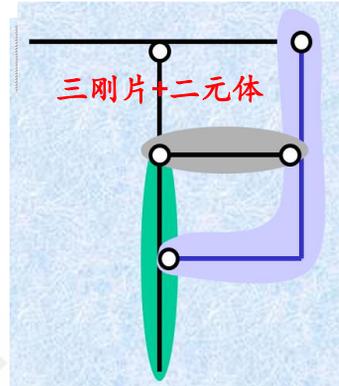
静定与超静定结构

❖ 静定结构

- 温度作用/支座位移/材料收缩/装配误差等不产生内力
- 结构内力与材料属性和截面尺寸无关

❖ 超静定结构

- 与上述相反
- 安全储备高，内力分布均匀



存在多余约束？

筑信达

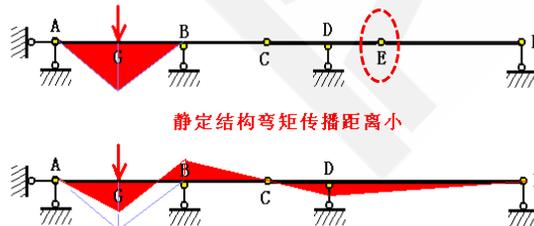
静定与超静定结构

❖ 静定结构

- 温度作用/支座位移/材料收缩/装配误差等不产生内力
- 结构内力与材料属性和截面尺寸无关

❖ 超静定结构

- 与上述相反
- 安全储备高，内力分布均匀



筑信达

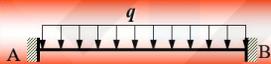
静定与超静定结构

❖ 静定结构

- 温度作用/支座位移/材料收缩/装配误差等不产生内力
- 结构内力与材料属性和截面尺寸无关

❖ 超静定结构

- 与上述相反，安全储备高，内力分布均匀
- 结构各部分相对刚度的变化→内力变化

单跨超静定梁简图	M_{AB}^F	M_{BA}^F	Q_{AB}^F	Q_{BA}^F
	$-\frac{ql^2}{12}$	$\frac{ql^2}{12}$	$\frac{ql}{2}$	$-\frac{ql}{2}$

筑信达

5

支座与节点的类型

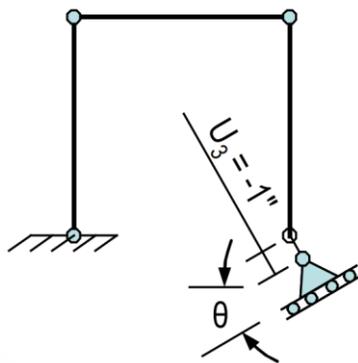


筑信达

支座与节点的类型

❖ 支座类型

- 刚性支座：零位移，零转角
 - 固定支座 
 - 固定铰支座 
 - 可动铰支座 
 - 定向支座 
- 柔性支座：非零的位移或转角
 - 线性（弹性）支座
 - 非线性支座



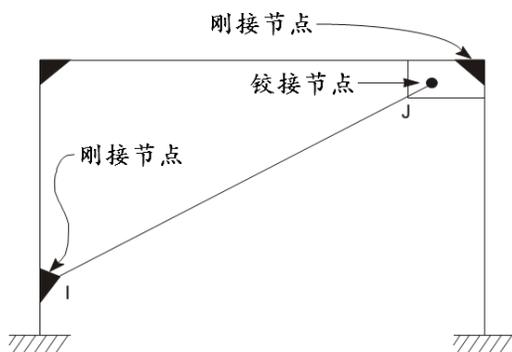
节点局部轴

筑信达

支座与节点的类型

❖ 节点类型

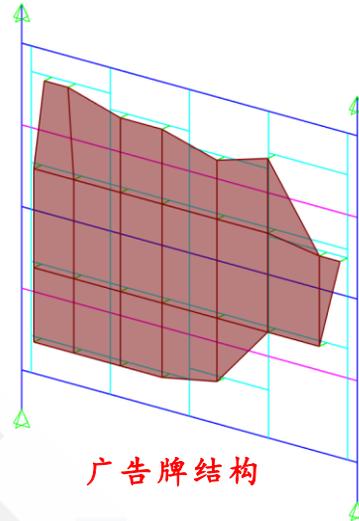
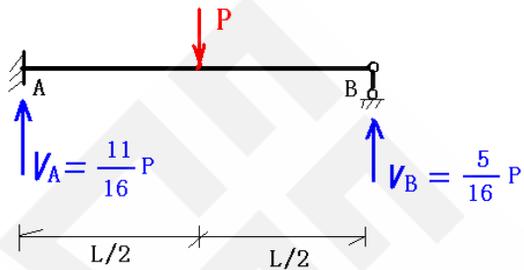
- 刚接，铰接，半刚性连接



筑信达

支座与节点的类型

❖ 支座刚度与荷载分担

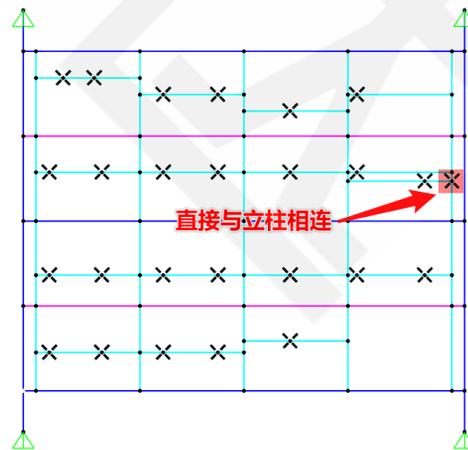
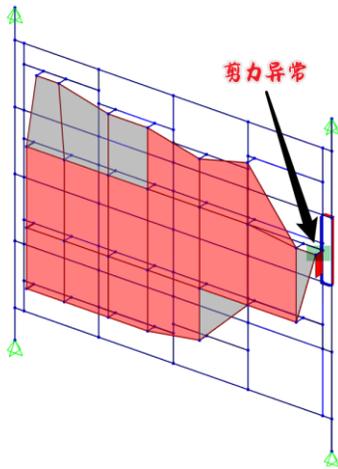


广告牌结构

筑信达

支座与节点的类型

❖ 支座刚度与荷载分担



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"