

桥梁结构分析

主讲人：张志国

北京筑信达工程咨询有限公司

2023年6月27日

1

1

桥梁结构的快速建模



筑信达

2

CSiBridge 参数化建模

❖ 专业的桥梁结构分析与设计软件

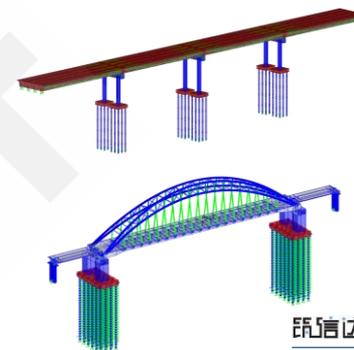


筑信达

3

CSiBridge 参数化建模

❖ 组件拼装成桥梁结构



筑信达

4

CSiBridge 参数化建模

❖ “一处修改”全桥自动匹配

The screenshot shows the CSiBridge software interface. At the top, there's a menu bar with options like '文件', '视图', '模型', '分析', '设计', '帮助'. Below the menu is a toolbar with various icons. The main window displays a 3D perspective view of a bridge structure, which is a long, narrow truss bridge. A yellow circle is drawn around a specific joint or member on the bridge, indicating a modification point. The software title bar reads 'CSiBridge 2013 Advanced software C 64-bit - 桥梁建模'.

讯言达

5

SAP2000 平面桁架

The diagram illustrates the conversion of a parallel truss to a Pratt truss. On the left, a parallel truss is shown with the label '平行弦桁架'. In the center, a truss diagram is shown with dimensions: height H , span L_1 , L_2 , and L_3 . An arrow points down to a Pratt truss, labeled '普拉特桁架'. The software logo '讯言达' is in the bottom right corner.

6

桁架桥

The slide features a technical diagram of a truss bridge and three photographs of real-world truss bridges. The diagram labels the '上弦杆' (top chord), '斜杆' (diagonal), '竖杆' (vertical), and '下弦杆' (bottom chord). It also indicates '节间长度' (panel length) and '跨度 l' (span). The photographs show different styles of truss bridges, including a large steel truss bridge and a smaller concrete truss bridge.

讯言达

7

SAP2000 模型转换接口

The diagram shows the model conversion interface between AutoCAD, SAP2000, and Revit. It features three software windows: AutoCAD (top left) showing a 2D truss model, SAP2000 (bottom left) showing a 3D truss model, and Revit (right) showing a 3D building model. Blue arrows indicate the flow of data between these applications. The software logo '讯言达' is in the bottom right corner.

8

2

影响线和移动荷载分析



筑信达

移动荷载



移动荷载 (如: 吊车荷载、汽车荷载、列车荷载)

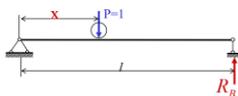
- 荷载的大小和方向不变
- 荷载的**作用点**随时间改变
- 结构产生的加速度 (惯性力) 可忽略 → 静力分析
- **结构响应 (内力、反力、位移等)** 随荷载作用点改变

影响线!

筑信达

影响线

❖ 静力法 (SAP2000)



$$R_B = \frac{x}{l} P = \frac{x}{l} (0 \leq x \leq l)$$

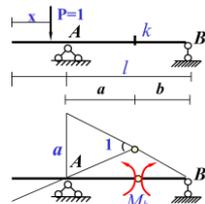
解析表达式 (SAP2000)



支座反力 R_B 的影响线

❖ 机动法 (手算)

- 虚位移原理: 静力问题 → 几何问题
- 方法巧妙但不适合编制计算机程序



k 截面的弯矩影响线

筑信达

轨道和车辆荷载

❖ 轨道数据

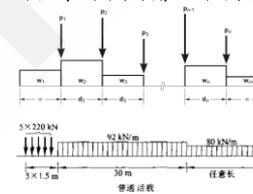
- 框架对象组: 荷载作用范围
- 离散化: 荷载作用点 (加载点)



❖ 车辆荷载

- 集中荷载 (轴重或轮压)
- 均布线荷载 (车辆平均重量)

$n-1$ 个轴距, n 个集中荷载, $n+1$ 个均布线荷载



筑信达

静定梁的影响线

伸臂简支梁

教科书

SAP2000

筑信达

13

超静定梁的影响线

多跨连续梁

曲线形式的影响线

SAP2000 (加载点)

筑信达

14

静定桁架的影响线

平行弦桁架

SAP2000

筑信达

15

影响线的应用

绝对最大弯矩和内力包络图

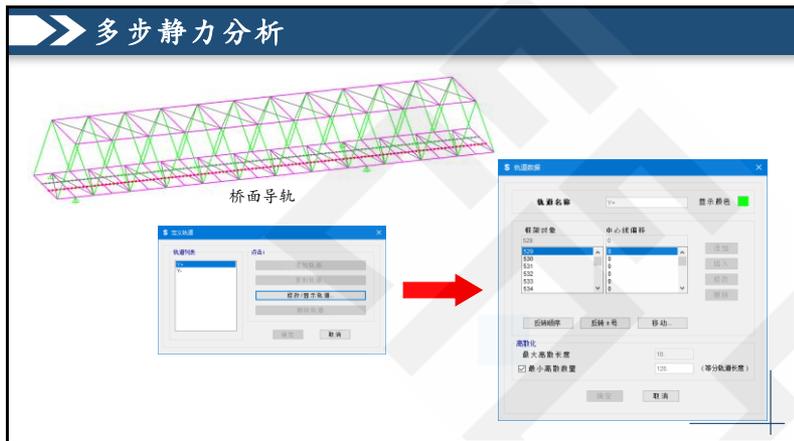
最不利荷载布置

弯矩包络图 (kNm)

弯矩包络图 (SAP2000)

筑信达

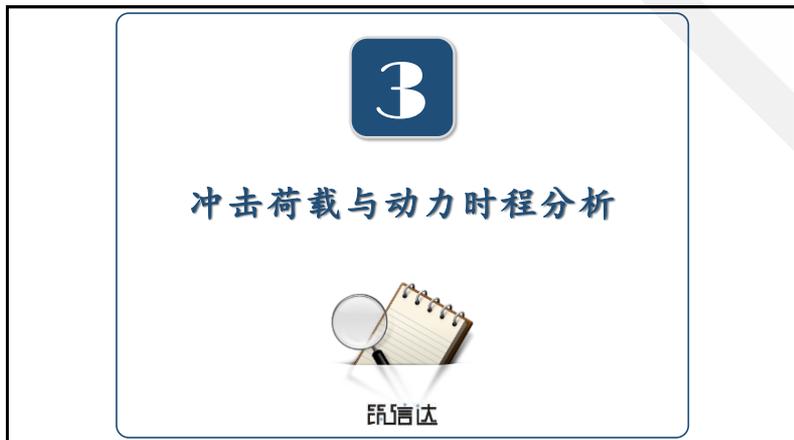
16



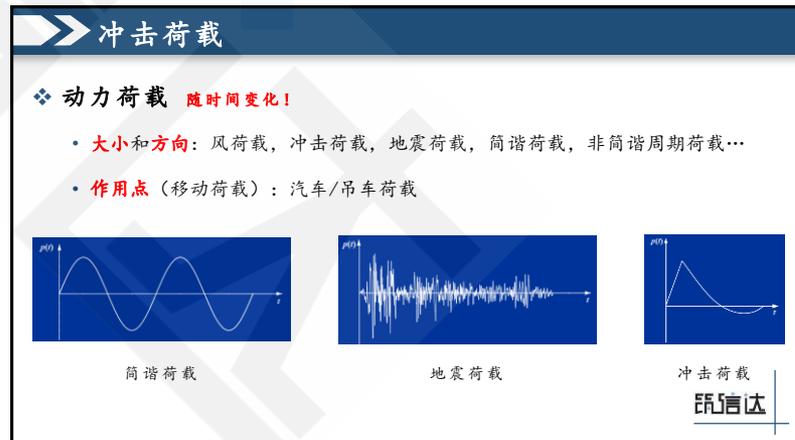
17



18



19



20

冲击荷载

冲击荷载和时程函数

在很短的时间内突然施加在结构上的荷载

冲击荷载

Time History 定义

时间	荷载
0.0000	0.0000
0.0001	1.0000
0.0010	0.5000
0.0100	0.0000

Time History 定义

时间	荷载
0.0000	0.0000
0.0001	1.0000
0.0010	0.5000
0.0100	0.0000

筑信达

21

冲击荷载

基于能量守恒原理计算冲击荷载

初始高度处的冲击物**势能**→水平位置处的冲击**动能**→被冲击结构的**应变能**

- 势能： $E=Ph$
- 单位荷载作用下结构应变能： $E_1=1\cdot\Delta$
- 冲击荷载： $F=E/E_1$

筑信达

22

动力时程分析

基于能量守恒原理计算冲击荷载

初始高度处的冲击物**势能**→水平位置处的冲击**动能**→被冲击结构的**应变能**

- 单位荷载作用下结构应变能： $E_1=1\cdot\Delta$

Joint Displacements

Joint	Case	1	2	3
Trans		-0.0002-0.00	0.000000-0.00	1.000000-0.04
Rot		0.000000-0.00	0.000000-0.00	0.000000-0.00

筑信达

23

动力时程分析

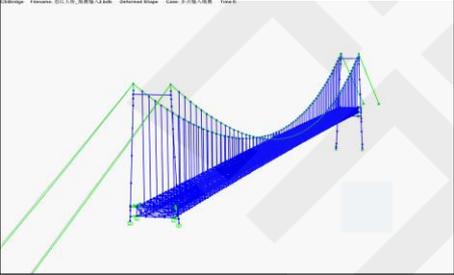
大跨度悬索桥的地震响应分析

筑信达

24

动力时程分析

❖ 大跨度悬索桥的地震响应分析



25

动力时程分析

❖ 振型叠加法

动力平衡方程 (耦合的方程) $[M](\ddot{u}) + [C](\dot{u}) + [K](u) = (P)$

坐标变换 \downarrow $\{u\} = [\phi]\{q\}$

$[M][\phi](\ddot{q}) + [C][\phi](\dot{q}) + [K][\phi](q) = (P)$

$[\phi]^T[M][\phi](\ddot{q}) + [\phi]^T[C][\phi](\dot{q}) + [\phi]^T[K][\phi](q) = [\phi]^T(P)$

单质点动力平衡方程 (解耦合的方程) $M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = P_n$



26

动力时程分析

❖ 直接积分法

动力平衡方程 (耦合的方程) $[M](\ddot{u}) + [C](\dot{u}) + [K](u) = (P)$

以矩阵的形式直接进行时域上的积分求解

$[M][\phi](\ddot{q}) + [C][\phi](\dot{q}) + [K][\phi](q) = (P)$

$[\phi]^T[M][\phi](\ddot{q}) + [\phi]^T[C][\phi](\dot{q}) + [\phi]^T[K][\phi](q) = [\phi]^T(P)$

单质点动力平衡方程 (解耦合的方程) $M_n \ddot{q}_n + C_n \dot{q}_n + K_n q_n = P_n$



27

动力时程分析

❖ 直接积分法

- 考虑各个振型间的耦合阻尼 (瑞利阻尼)
- 适用于求解大量振型参与的动力问题
 - 如: 冲击问题、爆破问题或波的传播问题等
- 适用于更多的非线性分析
 - 如: 弹塑性分析、阶段施工分析、P-Delta 分析……
- 对时间步长比较敏感
 - 建议: 逐步减小时间增量 → 重新分析 → 对比分析结果



28

谢谢



CSIBridge 技术交流群

筑信达在线支持系统

support.cisec.cn

技术热线

010-68924600-200

周五网络课堂

cisec.ke.qq.com

筑信达官网: 知识库/案例教程/技术期刊

www.cisec.cn



SAP2000 技术交流群