

慧加 WISEPLUS V4.2 新砵规版 新规范解决方案详解之空间网格模型

赵瑜

上海慧加软件有限公司

2018. 11. 22

◆ 空间网格精细化分析

- 空间网格分析必要性
- 新规范相应内容

◆ WISEPLUS空间网格模型

- 空间网格模型定义
- 空间网格模型——网格模型生成器
- 空间网格与实体对比

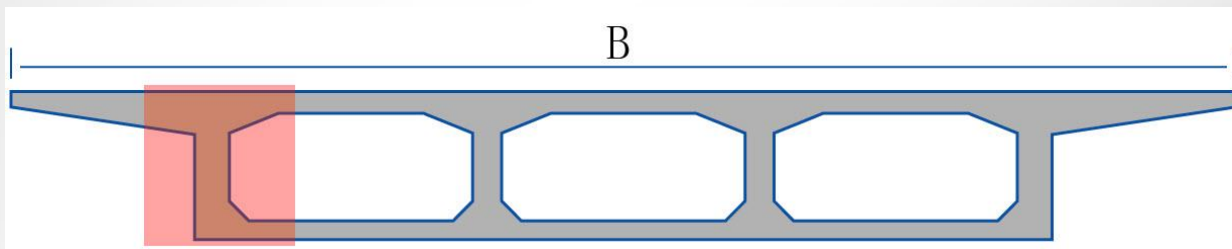
◆ 实例演示

桥梁的空间效应

4.1.8 弯、斜、宽等复杂桥梁结构应考虑剪力滞效应、薄壁效应、各道腹板的受力分布等空间效应，可采用实体单元模型或附录 G “桥梁结构的实用精细化分析模型”计算。

条文说明：

复杂桥梁结构的空间效应主要为三种：剪力滞效应、薄壁效应和各腹板受力分布。



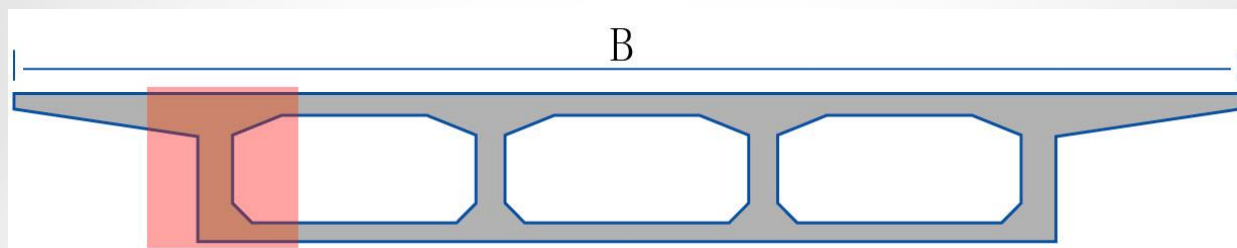
◆ 空间效应的处理方式：放大系数

- 各腹板受力分布 \longrightarrow 横向分布系数
- 剪力滞效应 \longrightarrow 有效分布宽度
- 薄壁效应 \longrightarrow 偏载系数（弯矩、剪力放大系数）

◆ 极限阶段配筋计算采用同样的放大系数

“大包小”的方法：将部分位置扩展至全断面，简化成单梁

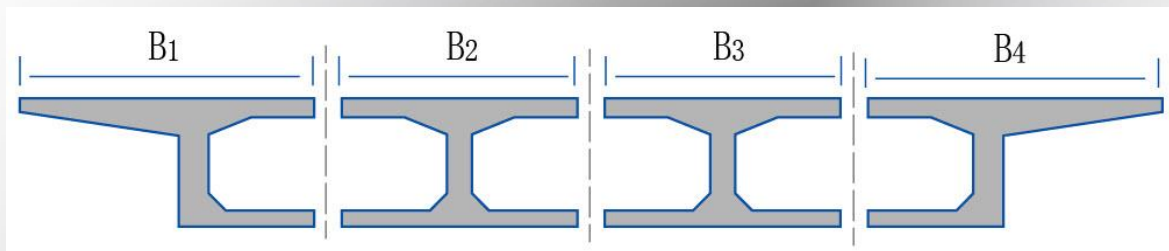
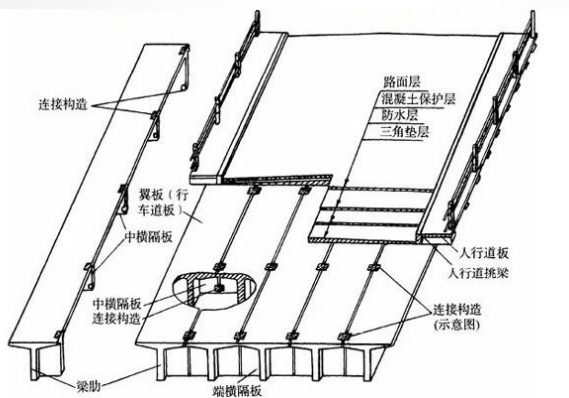
桥梁的空间效应



简化系数	对应的空间效应	具体含义
横向分布系数	腹板受力分配效应	结构在外荷载作用下某片主梁（腹板）所分配到的最大荷载比例
偏载放大系数	薄壁效应	正应力放大系数 $\lambda_\sigma = \sigma_Z / \sigma_M$ ，剪应力放大系数 $\lambda_\tau = \tau_Z / \tau_M$ ，一般 1.05-1.15
有效分布宽度	剪力滞效应	采用有效分布宽度，以一个包络值来进行顶板底板的纵向应力验算

简化系数的局限性

简化系数	单梁模型存在的不足
横向分布系数	“横向分布”概念源于每道腹板下均设有支座的多梁式简支梁桥，箱梁桥一般为连续结构、且不可能在每道腹板下设置支承，这与“横向分布”概念的结构原型及适用条不相符。
偏载放大系数	目前混凝土箱梁桥桥宽一般在 8m~16m，设计行车道数目一般为 3~4 个，对部分箱梁桥采用表 4.3-2 经验系数已明显偏小。
有效分布宽度	箱梁桥存在施工过程，在各施工阶段，由于结构体系不同，有效分布宽度是有所差异的；采用有效分布宽度忽略了顶板和底板的水平剪应力，造成箱梁的顶板或底板出现斜裂缝时发生无法判断、无从着手。



新混规内容——分析

附录 A 桥梁结构的实用精细化分析模型 (新增)

A.1 一般规定

A.1.1 桥梁结构的实用精细化分析宜采用本附录的空间网格模型、折面梁格模型和 7 自由度单梁模型。

A.1.2 空间网格模型宜用于腹板间距不小于 5m 的混凝土箱梁。

A.1.3 折面梁格模型宜用于多梁式的装配式桥梁或单箱多室混凝土箱梁。

A.2.1 空间网格模型宜满足下列要求：

- 1 纵向梁格的宽度 b_n 不大于 2m，工字型截面的翼缘宽度 b_f 不大于 $6h_f$ (图 A.2.1)。

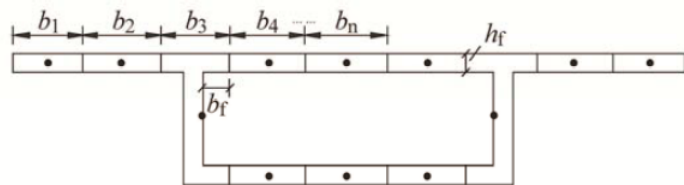
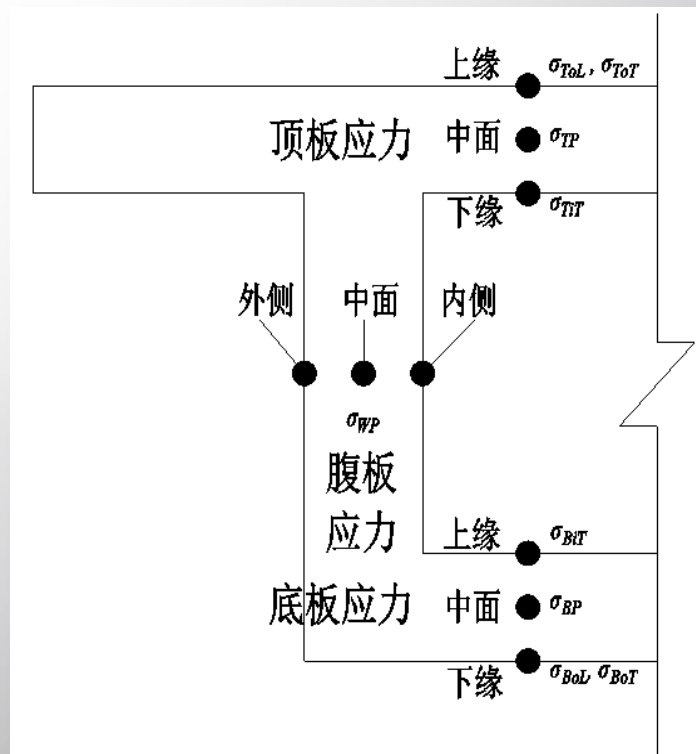
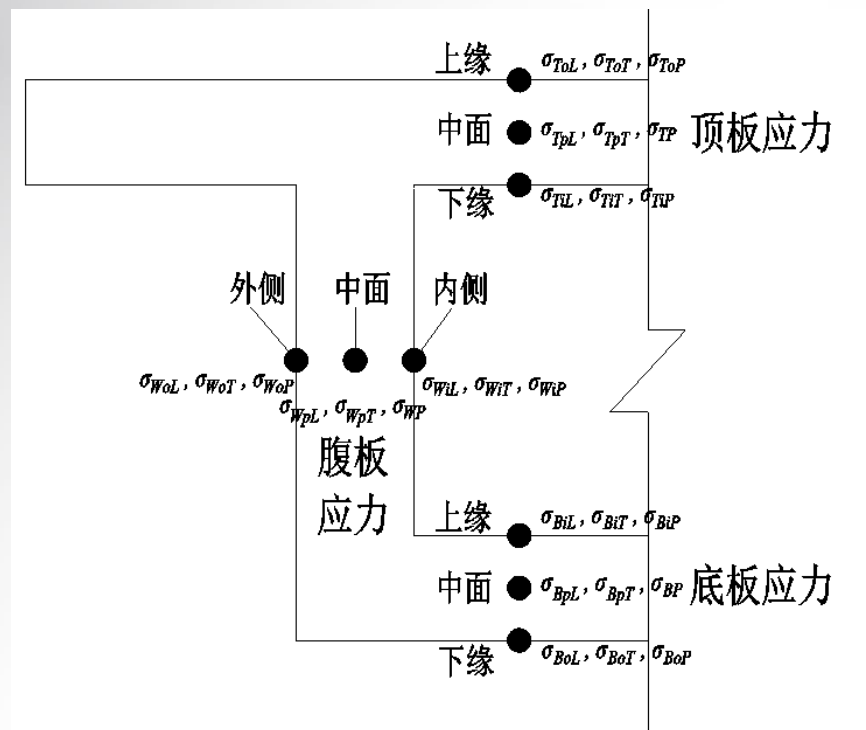


图 A.2.1 空间网格模型示意

- 2 配有钢束的腹板截面，不宜划分为多个纵向梁格。当带平弯的预应力钢筋横向穿过多个纵向梁格时，预应力钢筋穿过最长距离的纵向梁格应计入预应力钢筋预加力效应。

新混规内容——验算



新混规内容——验算

6.1.3 箱型截面的混凝土桥梁宜按表 6.1.3 进行抗裂、裂缝宽度验算。

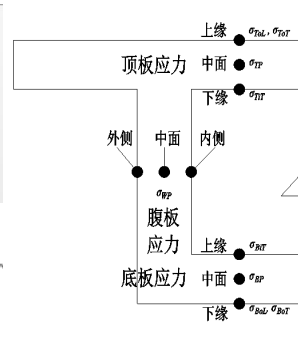


表 6.1.3 箱型结构的抗裂、裂缝宽度验算要求

部位	验算要求		
	全预应力结构和 A 类预应力结构	B 类预应力结构和钢筋混凝土结构	
顶板	上缘的纵桥向正应力	满足 6.3 节规定	按 6.4 节规定进行裂缝宽度验算
	上缘和下缘的横桥向正应力		
	面内的主应力		
底板	下缘的纵桥向正应力		
	上缘和下缘的横桥向正应力		
	面内的主应力		
腹板	面内的主应力		

A.2.1 空间网格模型将复杂的桥梁结构离散成多块**板**，每一个板元离散成十字交叉的正交梁格，以**十字交叉的纵横梁**的刚度等代成板的刚度，一片正交梁格就像是一张“网”。至此，桥梁结构采用**空间网格**来表达，如图 A-1。

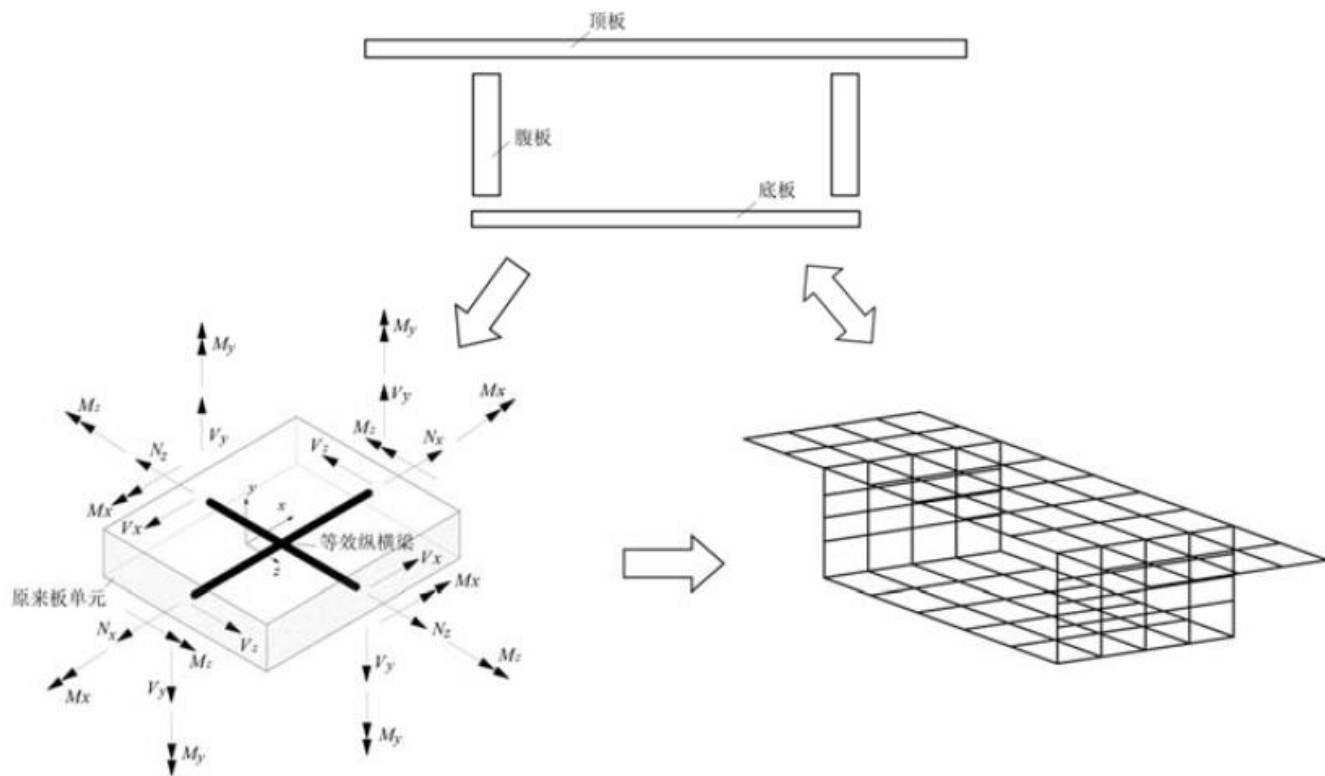
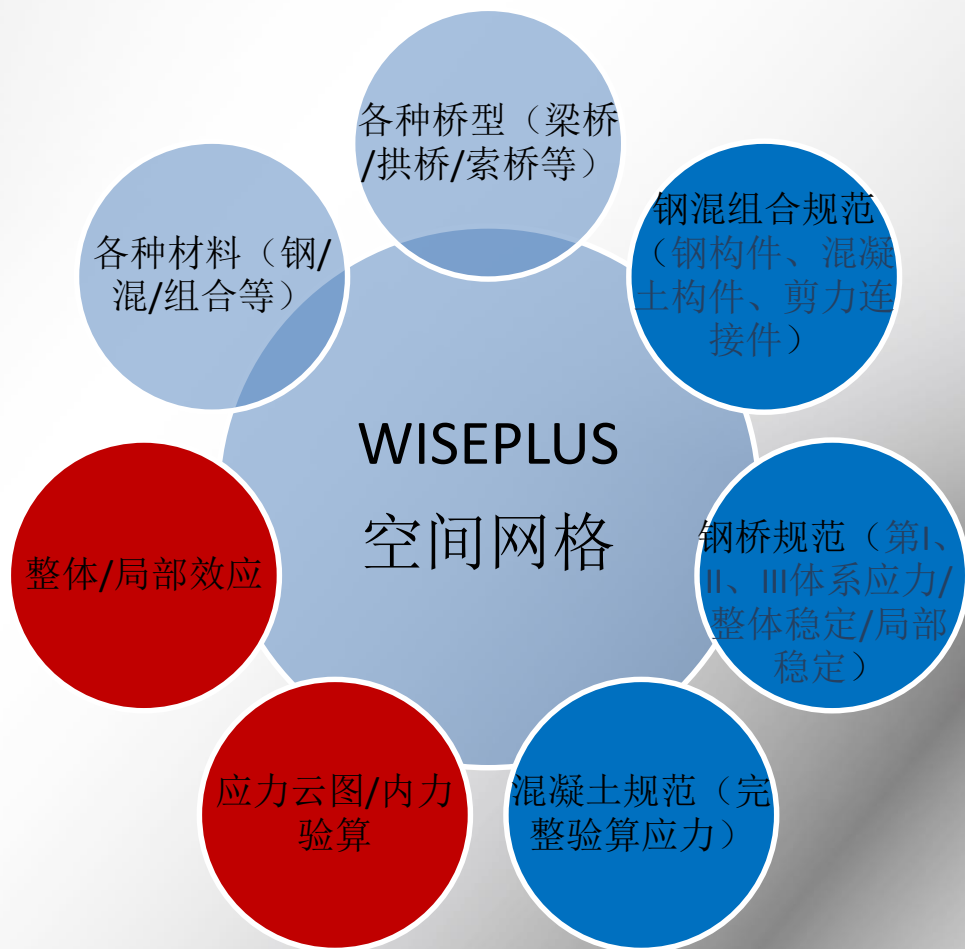


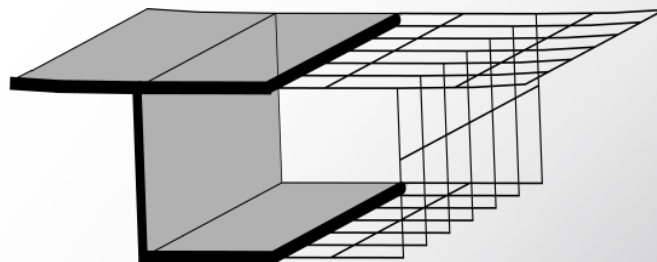
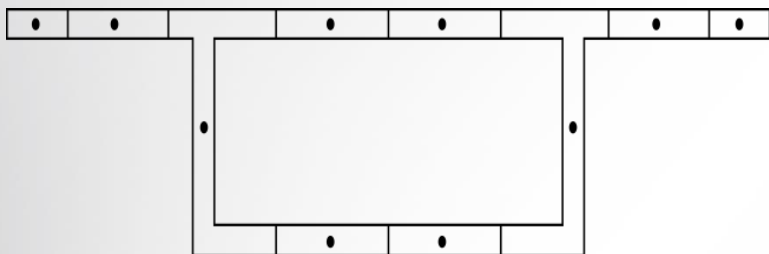
图 A-1 空间网格模型简化原理示意

空间网格解决问题

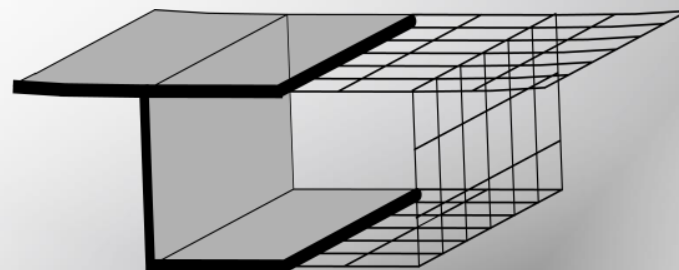
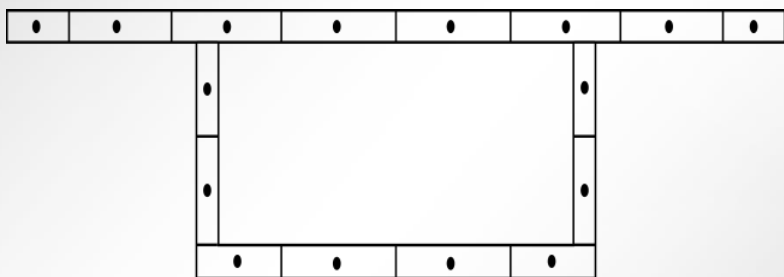
A.1.1 桥梁结构的实用精细化分析模型主要解决桥梁的空间效应问题，用于弥补单梁模型分析的不足。实用精细化模型针对不同的桥有不同的适用性。

1 空间网格模型可以**考虑桥梁全部的空间效应**，并可以**完整给出表 6.1.3 的验算指标**。

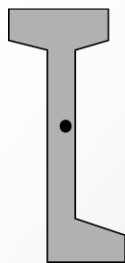




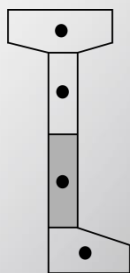
空间网格模型的截面划分（顶底板划分，腹板不划分）



空间网格模型的截面划分（顶、底、腹板均划分）



腹板截面



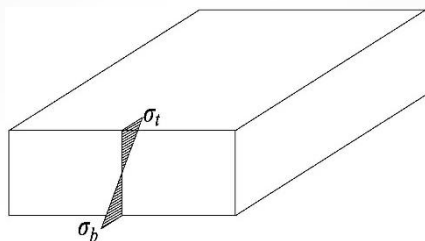
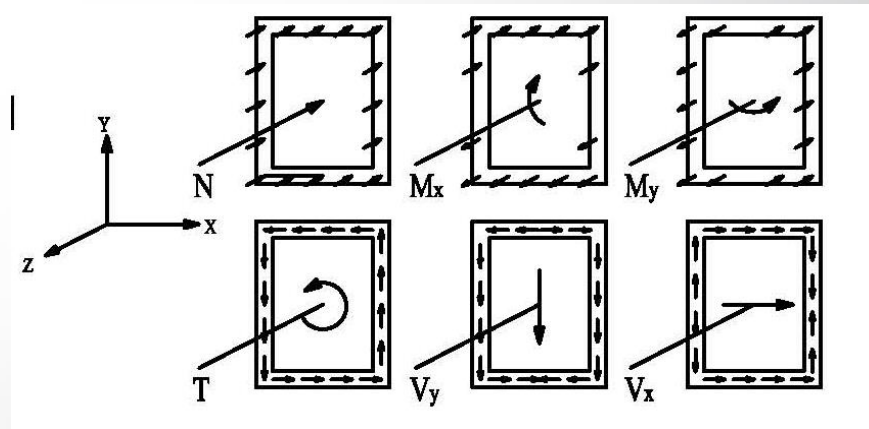
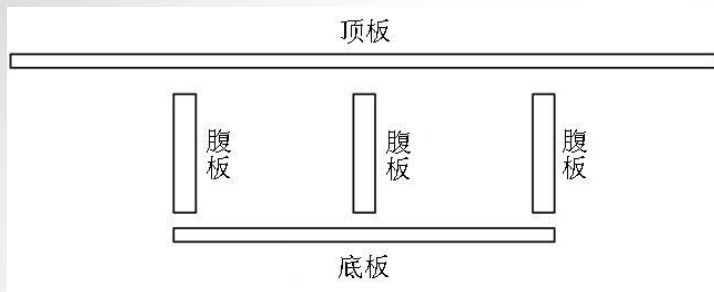
腹板划分截面



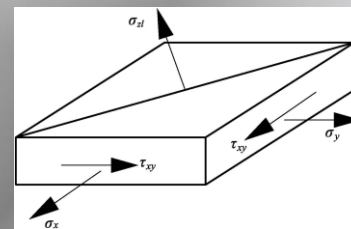
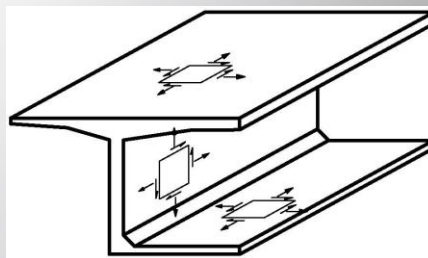
顶、底板纵横向划分截面

要点 1 —— 面内受力和面外受力

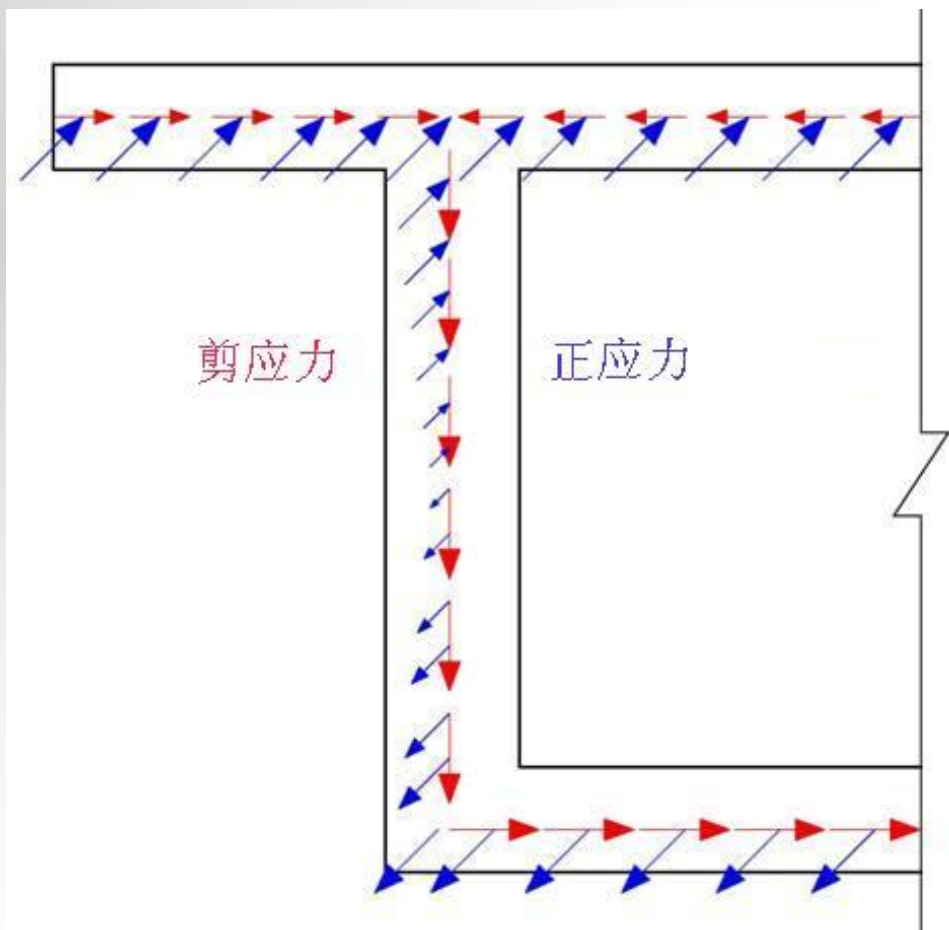
要点 2 —— 每块板的三层应力



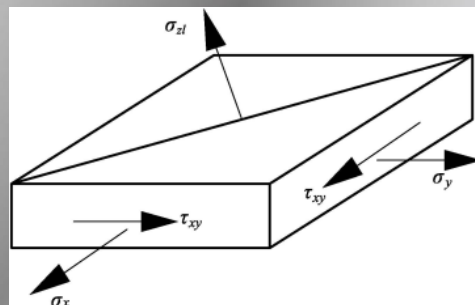
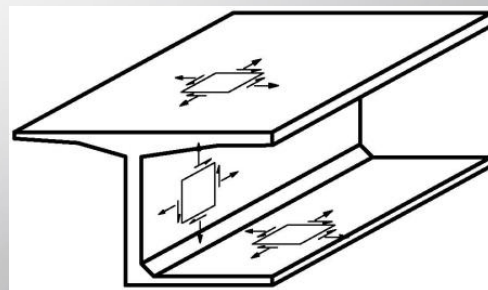
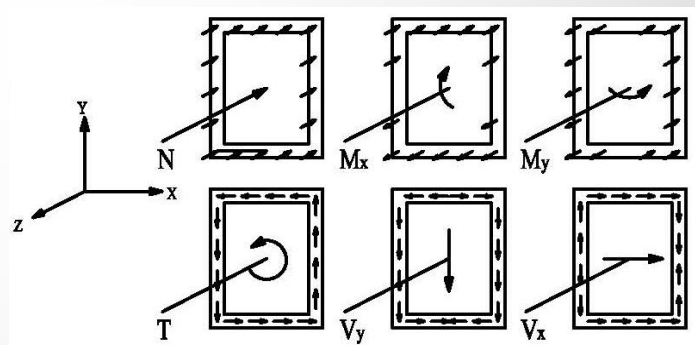
面外（反映局部荷载）

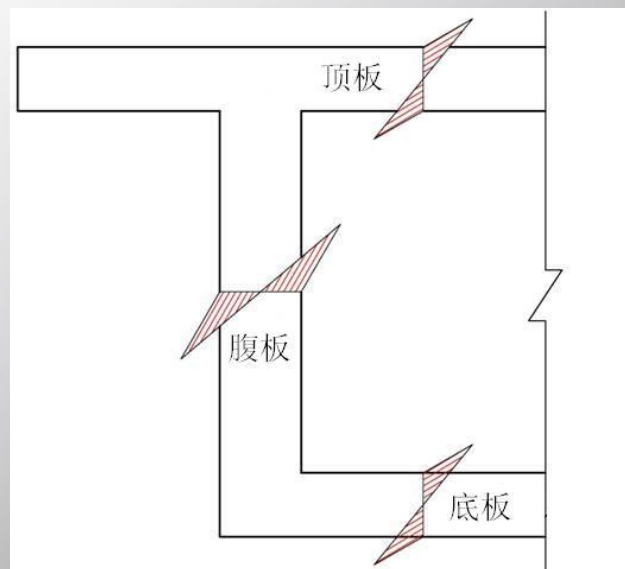
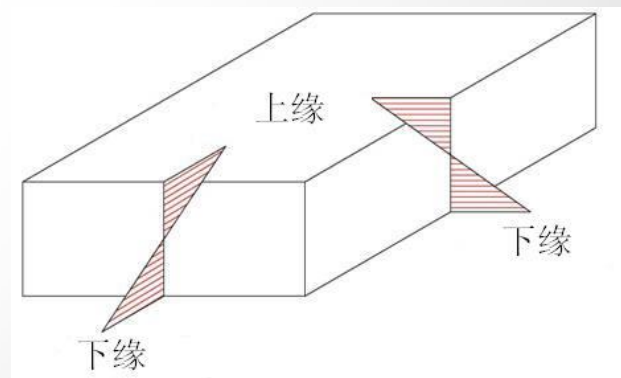
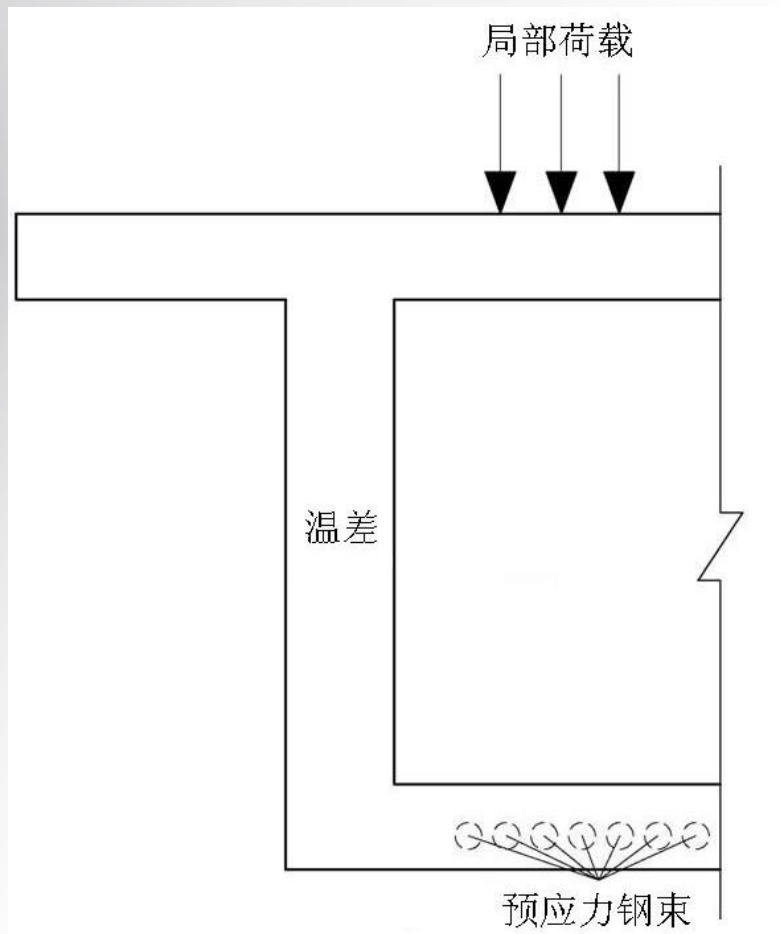


面内（反映整体荷载）

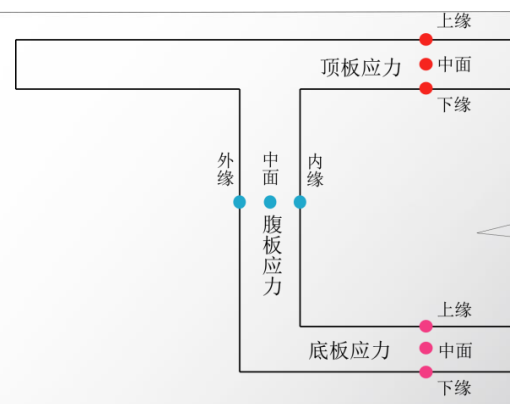
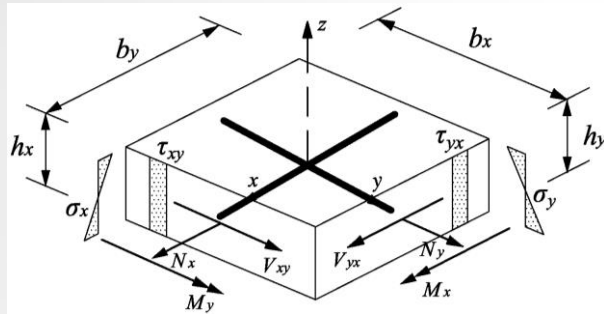


整体效应下的面内应力

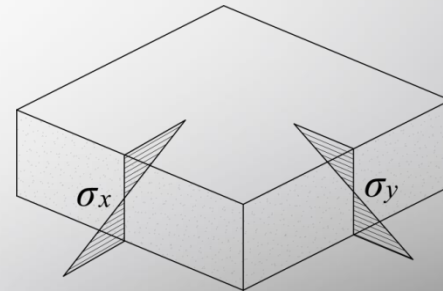
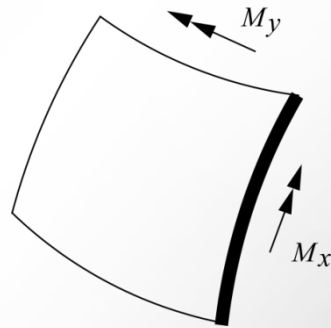




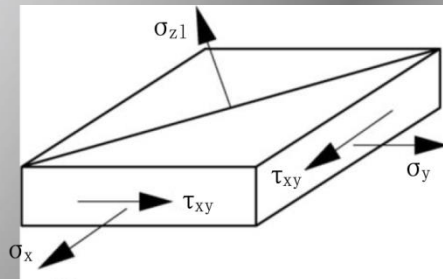
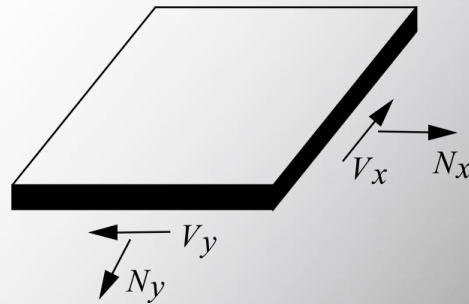
局部效应下的面外应力

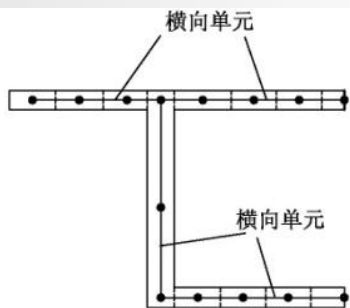


面外应力

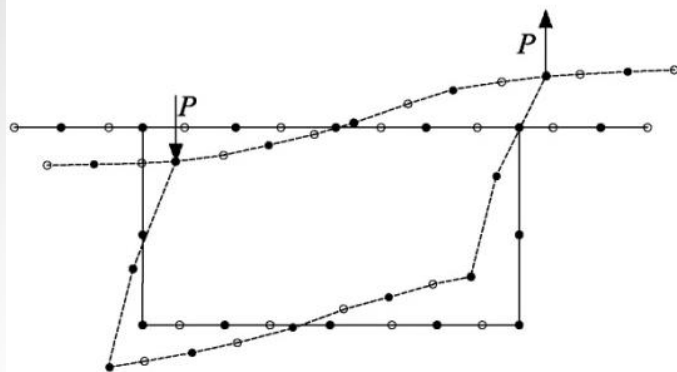


面内应力



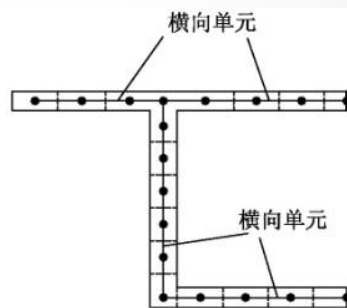


截面划分

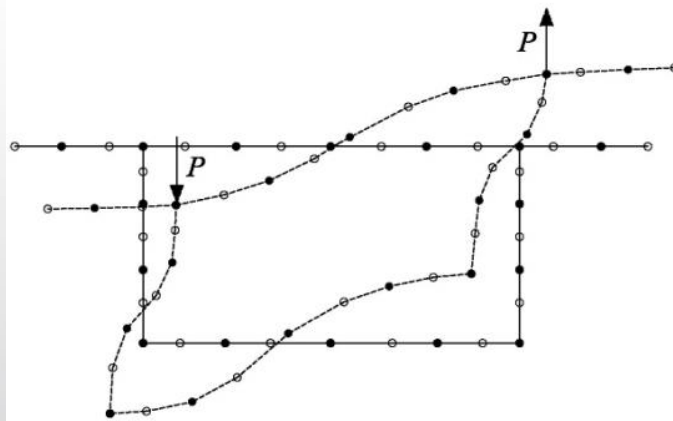


截面畸变

腹板不划分



截面划分

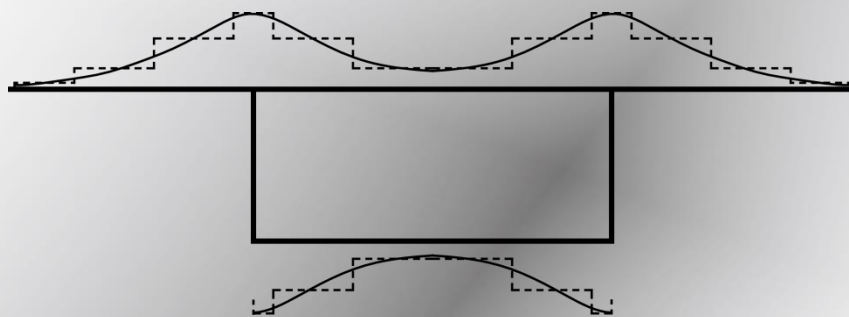
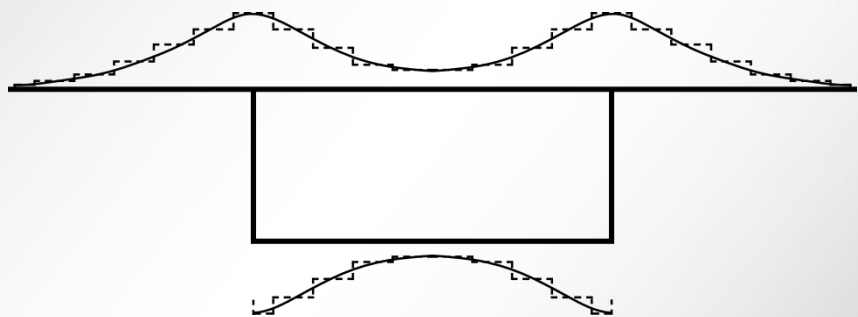
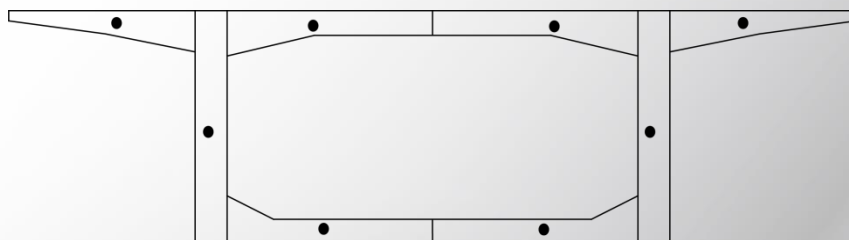
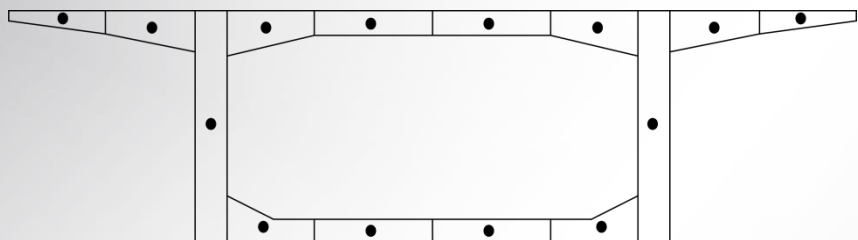


截面畸变

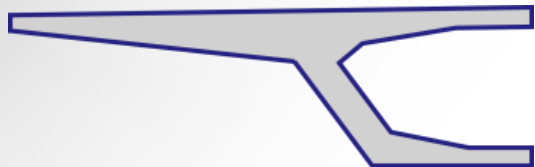
腹板划分

网格模型中箱梁截面畸变变形示意图

I、任意划分截面



2、刚度自动等效



	面积	Id	Ix	Iy
WISEPLUS	3.89	2.78	3.80	3.65
CAD	3.8949		3.8017	3.6485
某软件	3.894926	0.482821	3.80173	3.64847

	面积	Id	Ix	Iy
WISEPLUS	0.20	0.00233	0.00067	0.01667
CAD	0.20		0.00067	0.01667
某软件	0.20	0.00160	0.00067	0.01667

3、瞬息之间 随心而变

截面建立

新建 编辑 删除 导出 导入

结构类型 独立梁 梁格 空间网格

截面类型 自由度截面 梁柱截面 其他截面

输入方式 坐标 图形 DXF导入 对称 变截面

块数 2

第1块 块形式 多边形

相对弹性模量 1

相对剪切模量 1

	y(m)	z(m)
1	0.	0.
2	0.	-0.2
3	4.75	-0.505
4	5.75	-0.885
5	5.75	-4.895

截面分割信息

输入截面分割数相对于左上角点的y坐标序列

确定 取消

35, 4.85, 7.15, 9.05, 10.95, 13.55, 15.45, 17.35, 19.65, 22.15

左下角点 i5 右下角点 i6

左上角点 i12 右上角点 i17

左下角点 i13 右下角点 i16

定义箱梁有效分布宽度 定义加劲肋 定义截面切割线

截面计算特性

截面特性		角点与形心距离(m)		腹板宽度(m)	
轴惯性矩面积	2.264E+01	z左上	1.835E+00	z右上	1.835E+00
真实面积(m ²)	2.264E+01	z左下	-3.060E+00	z右下	-3.060E+00
Ω(m ²)	0.000E+00	y左上	-1.225E+01	y右上	1.225E+01
I _x (m ⁴)	2.070E+02	y左下	-6.500E+00	y右下	6.500E+00
I _y (m ⁴)	9.238E+01				
I _z (m ⁴)	7.979E+02				

导入截面抗弯特性 修改

输出

09:44:30 步骤->退出【网

09:44:36 步骤->进入【网

10:01:07 步骤->退出【网格模型生成器】

10:01:11 步骤->进入【截面】

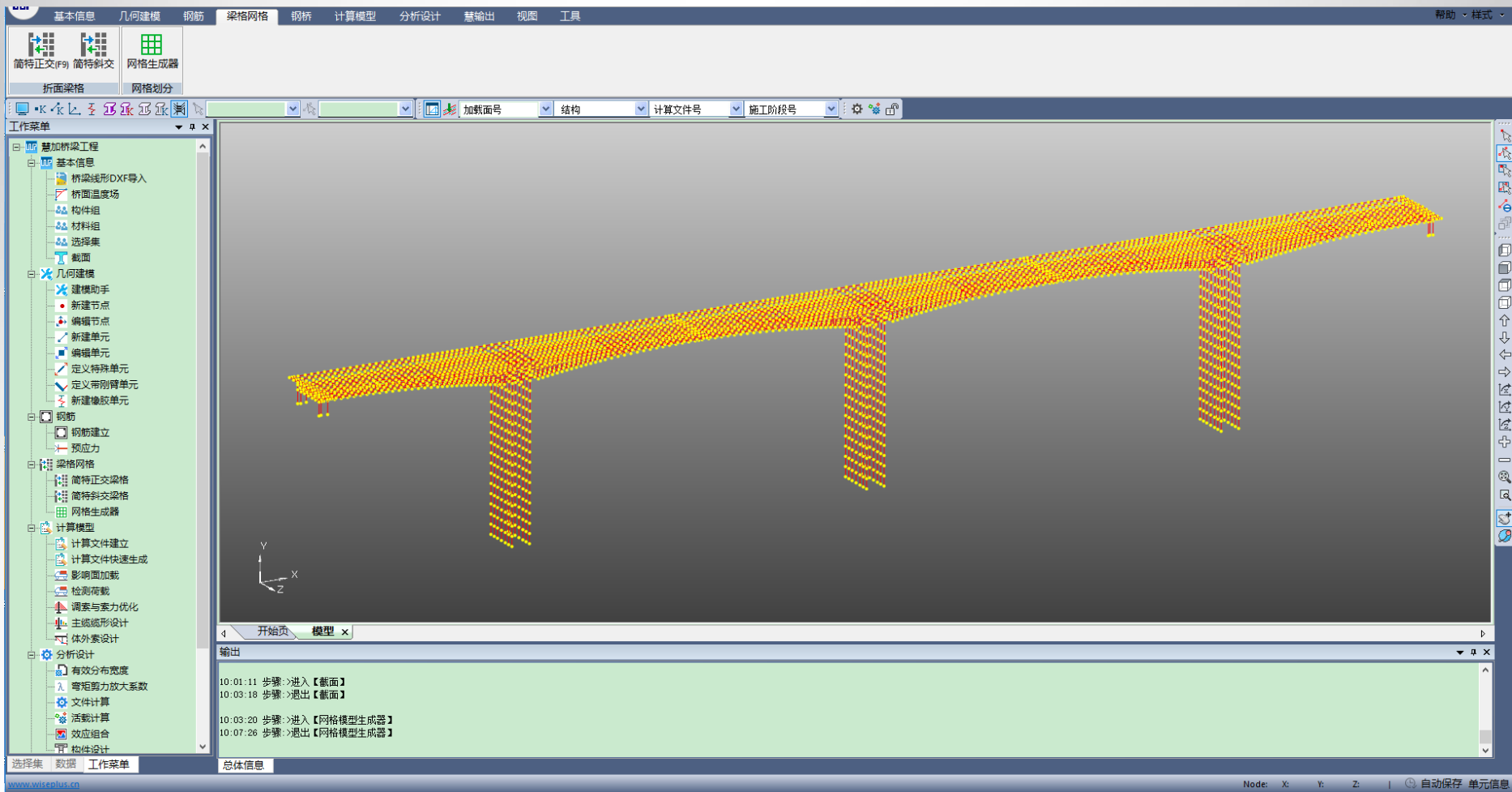
选择集 数据 工作菜单

总体信息

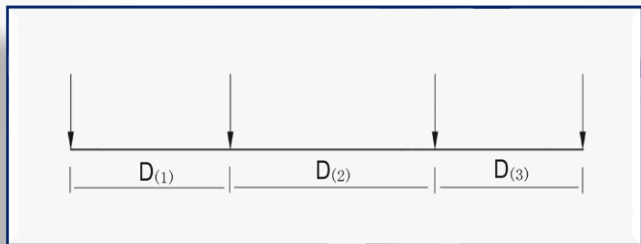
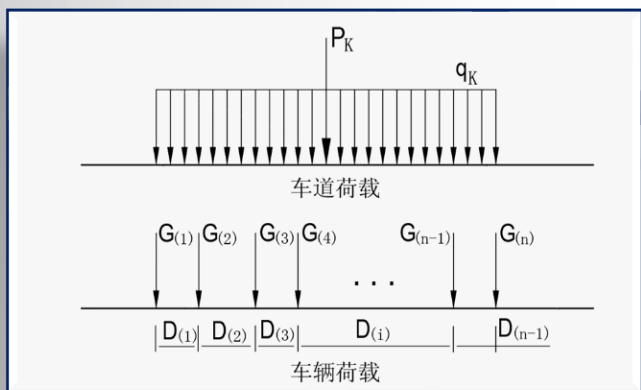
www.wiseplus.cn

Node: X: Y: Z: | 自动保存 单元信息

3、瞬息之间 随心而变

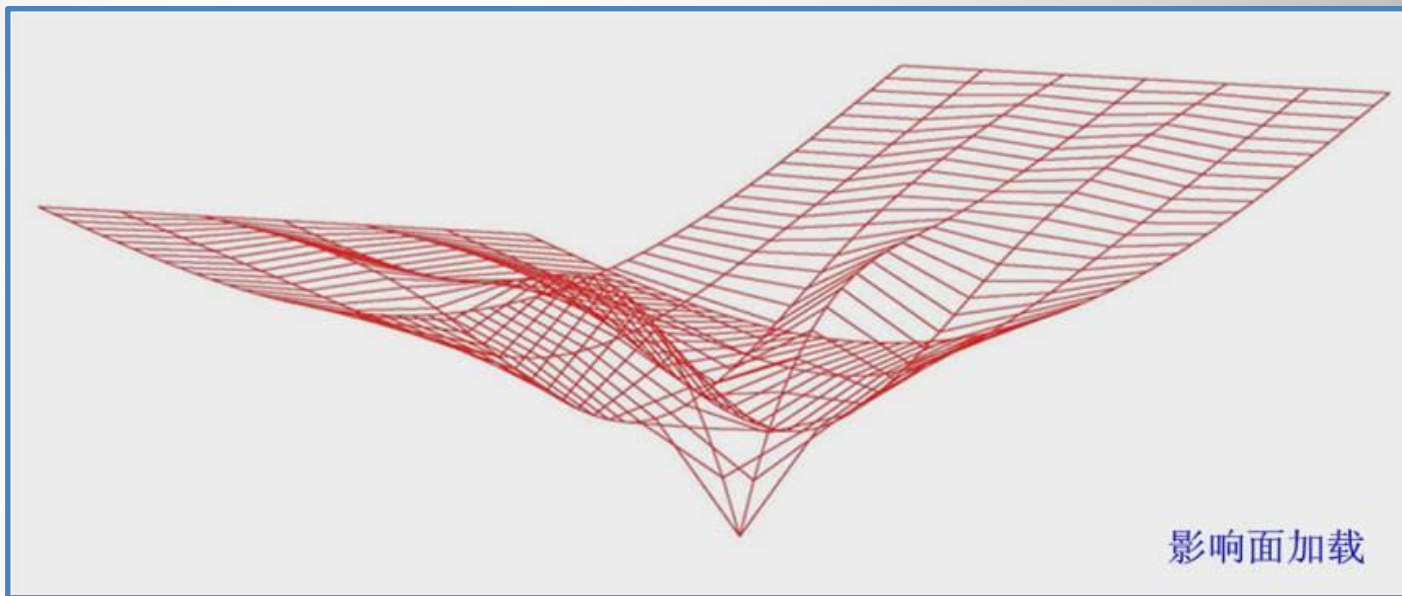


4、任意活载的影响面加载



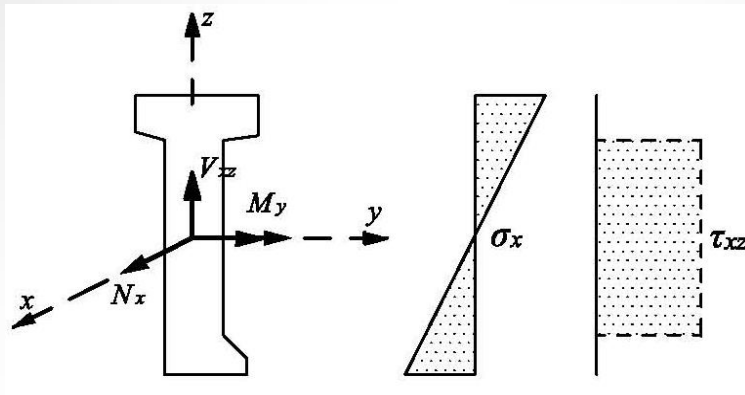
4、任意活载的影响面加载

- 弯矩 (含 M_y 与 M_z) 影响面
- 剪力 (含 M_y 与 M_z) 影响面
- 轴力影响面
- 扭矩影响面



5、智能应力求解器

对于腹板整体截面，正应力 σ_x 及剪应力 τ_{xz} 分别按式：

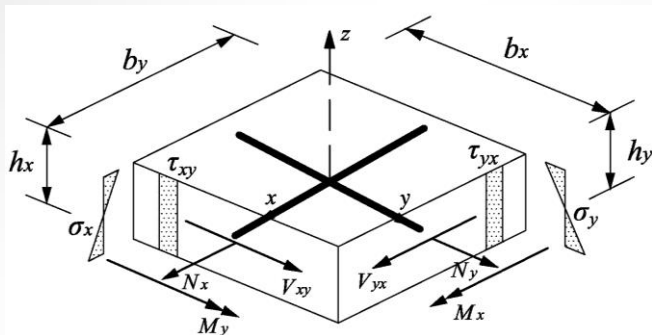


$$\sigma_x = \frac{N_x}{A_x} + \frac{M_y z}{I_y}$$

$$\tau_{xz} = \eta \frac{V}{bh}$$

5、智能应力求解器

对于划分截面



面外正应力:

$$\sigma_x = \frac{M_y z}{I_y}$$

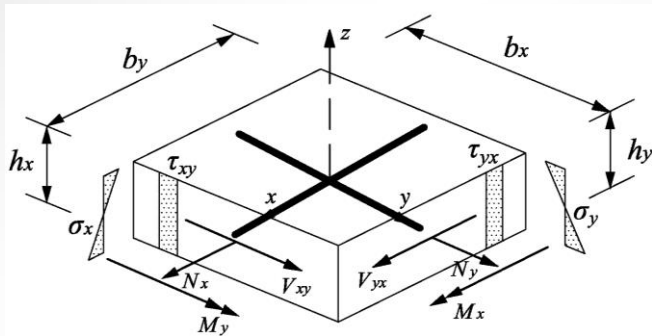
$$\sigma_y = \frac{M_x z}{I_x}$$

面内正应力:

$$\sigma_{x-m} = \frac{N_x}{A_x} = \frac{N_x}{b_x h_x} \quad \sigma_{y-m} = \frac{N_y}{A_y} = \frac{N_y}{b_y h_y}$$

5、智能应力求解器

对于划分截面



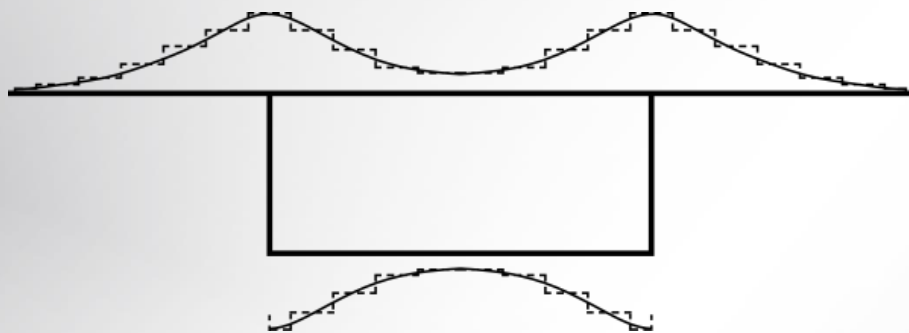
面内剪应力:

$$\tau_{xy} = \frac{V_{xy}}{b_x h_x}$$

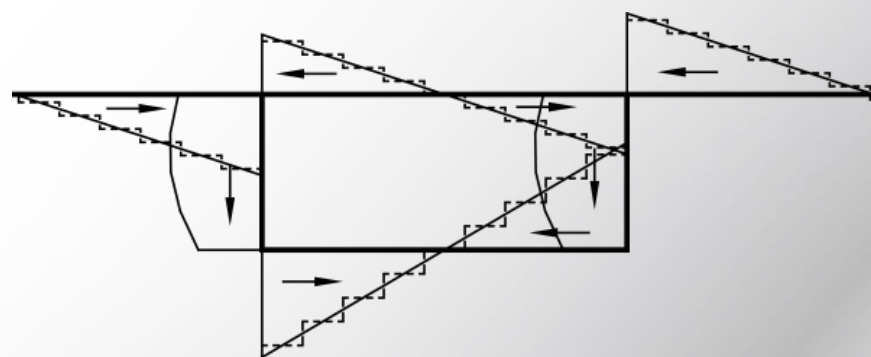
面内主拉应力 σ_t 和主压应力 σ_c :

$$\sigma_t = \frac{\sigma_{x-m} + \sigma_{y-m}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x-m} - \sigma_{y-m}}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

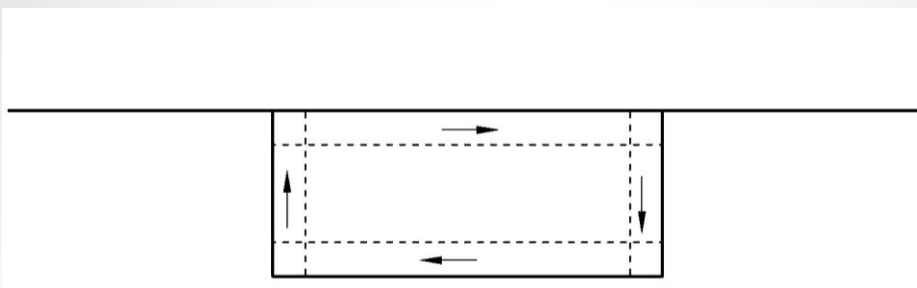
$$\sigma_c = \frac{\sigma_{x-m} + \sigma_{y-m}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_{x-m} - \sigma_{y-m}}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$



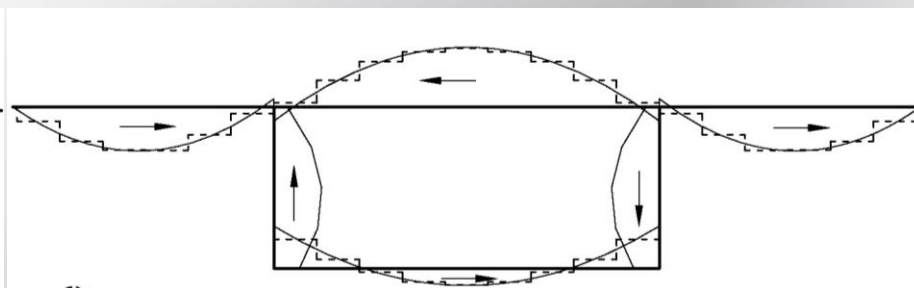
正应力（考虑剪力滞效应）



弯曲剪应力



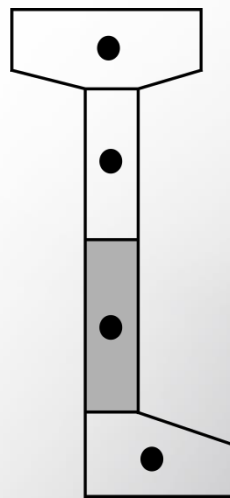
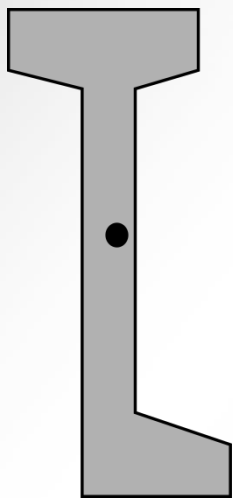
自由扭转剪应力



约束扭转剪应力

网格模型中箱梁截面应力示意图

6、任意截面配筋与设计验算



“单梁—网格”智能转换

单梁分析

基本信息

温度场

截面及切割线定义

结构信息
(几何建模)

跨径布置：桥长/线形

截面变化：关键截面选取

支座设置：边界条件

荷载信息

恒载（预应力）、温度、活载、沉降、组合

网格模型
生成器

横梁/横隔板：截面形式/预应力

纵向预应力：顶、底、腹板分配

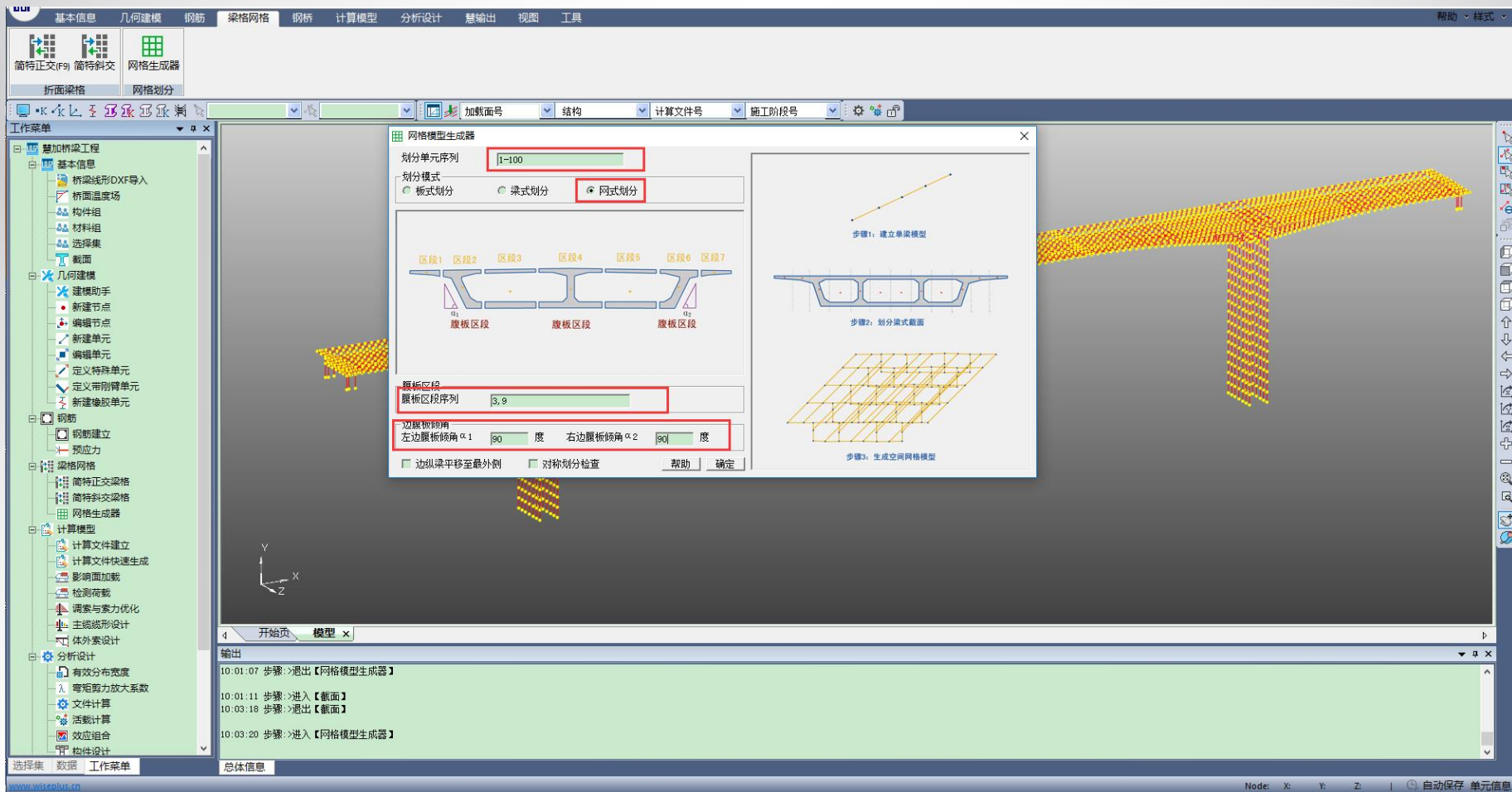
二期铺装：栏杆/分隔带等

规范设计

根据JTGD62-2004/JTG3362-2018验算并生成计算书

网格分析

WISEPLUS空间网格建模流程图



混凝土桥梁智能化设计

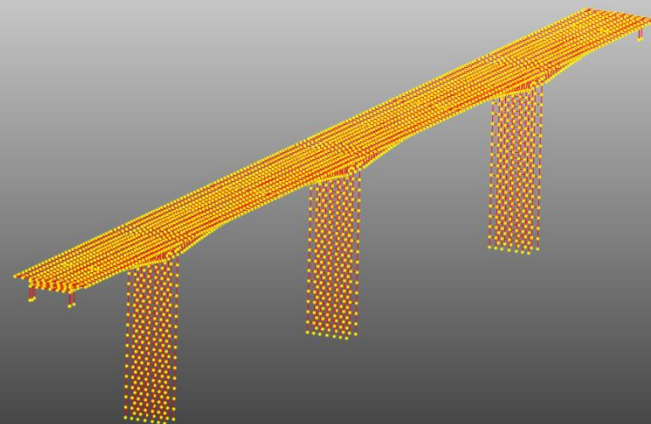
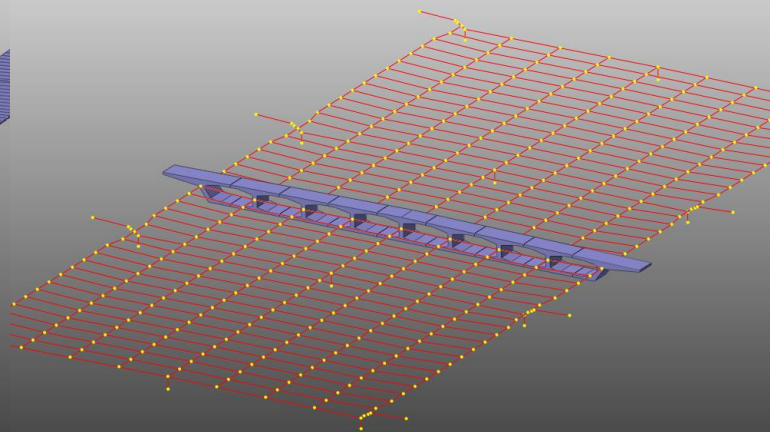
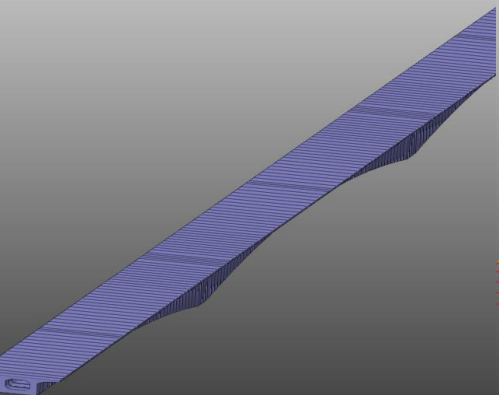
基本信息
(线形、跨径布置)

结构信息
(平面、立面、剖面图)

施工信息
(一次落架、悬臂施工)

荷载信息
(温度、沉降、活载)

一键四模型



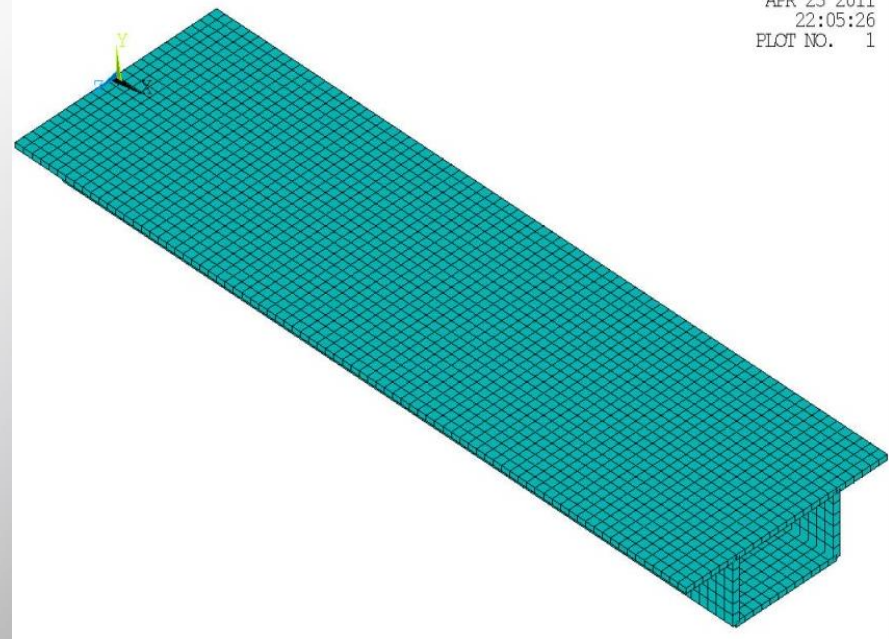
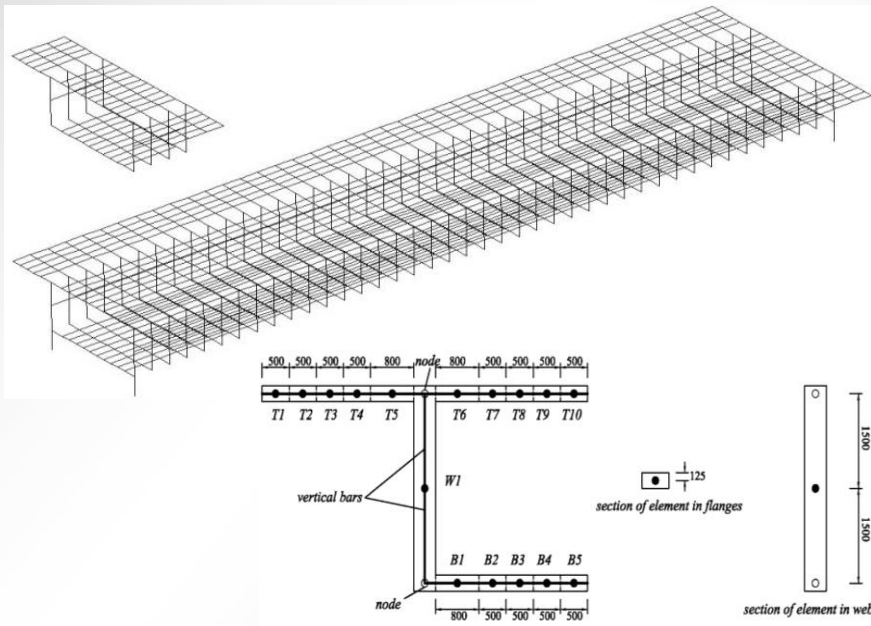
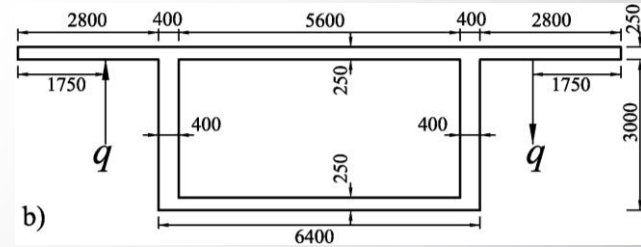
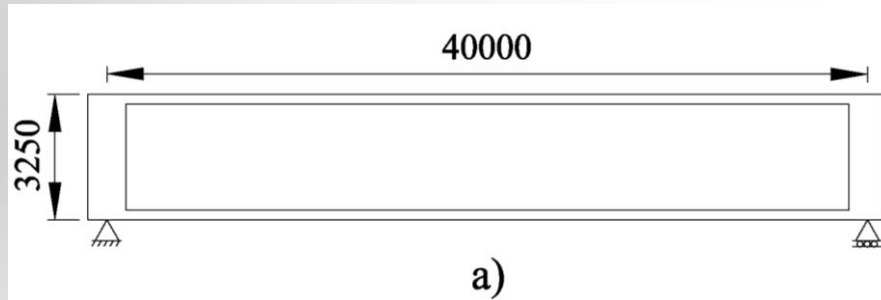
6DOF/7DOF单梁模型

折面梁格模型

空间网格模型

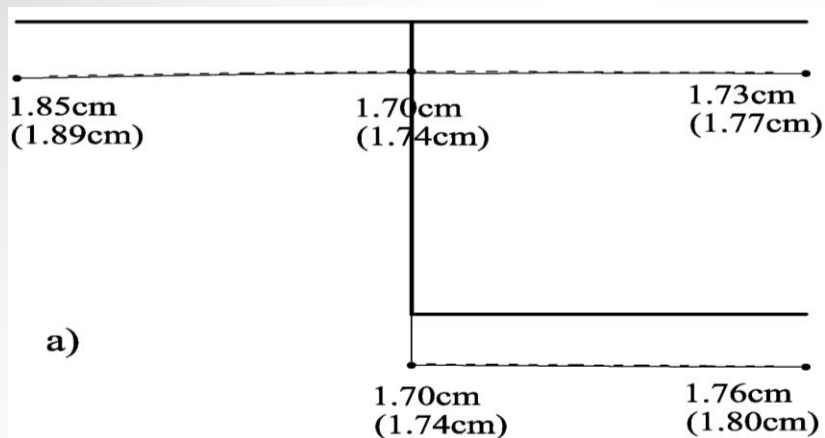
一键计算书 (新《规范》精细化分析)

空间网格实体对比

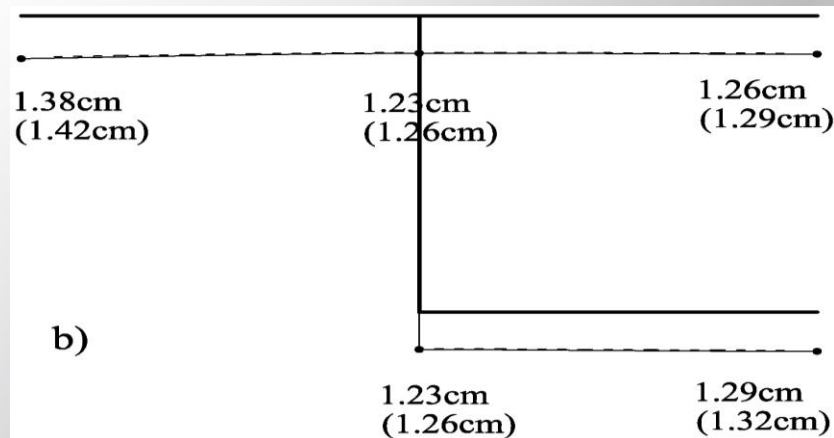


空间网格实体对比

◆ 自重作用下



跨中截面

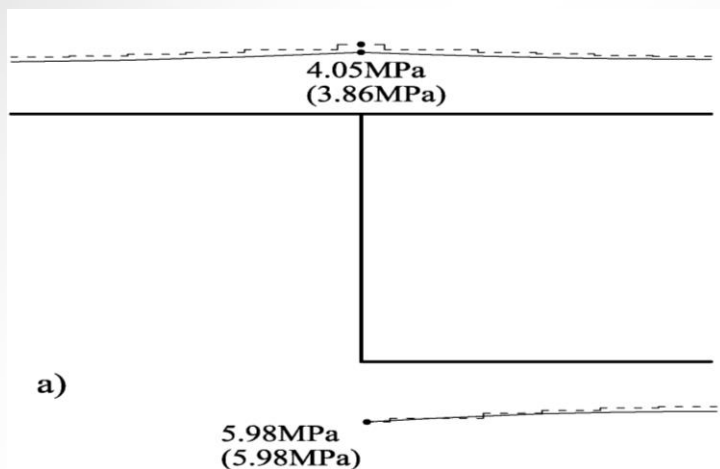


四分点截面

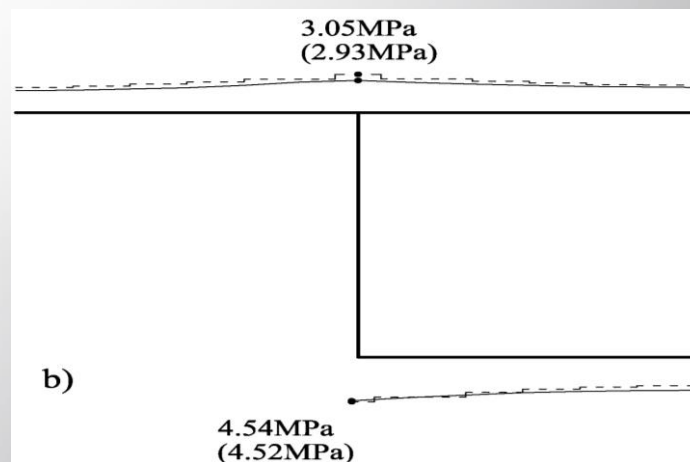
横截面竖向挠度

空间网格实体对比

◆ 自重作用下



跨中截面

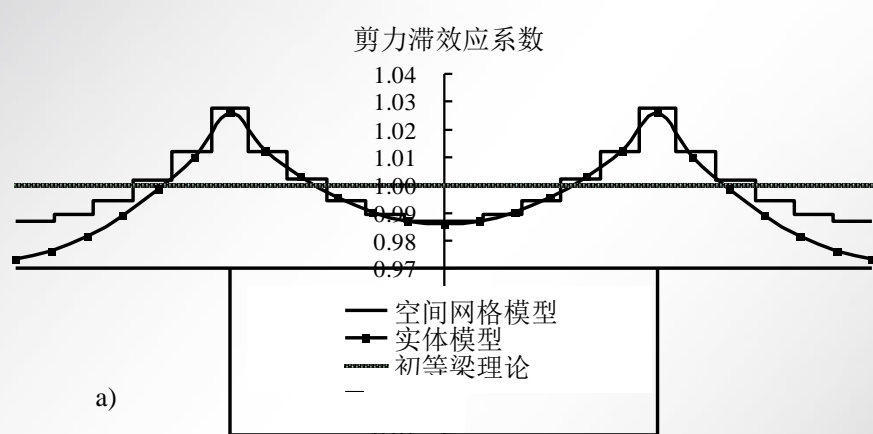


四分点截面

横截面纵向正应力分布

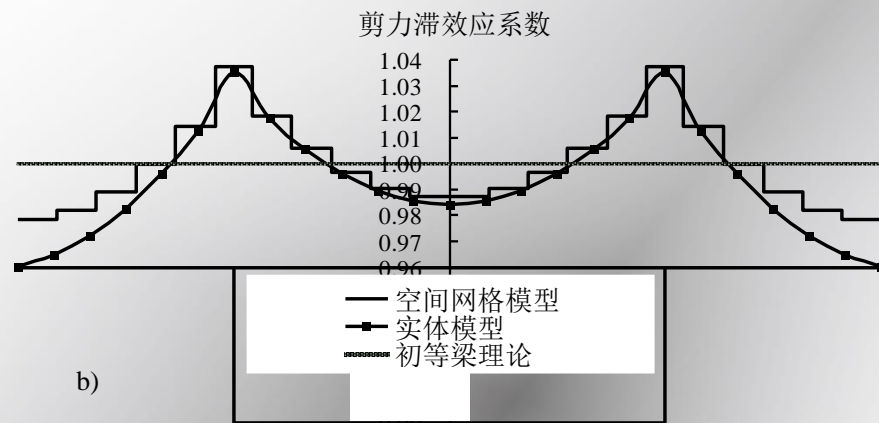
空间网格实体对比

◆ 自重作用下



a)

跨中截面



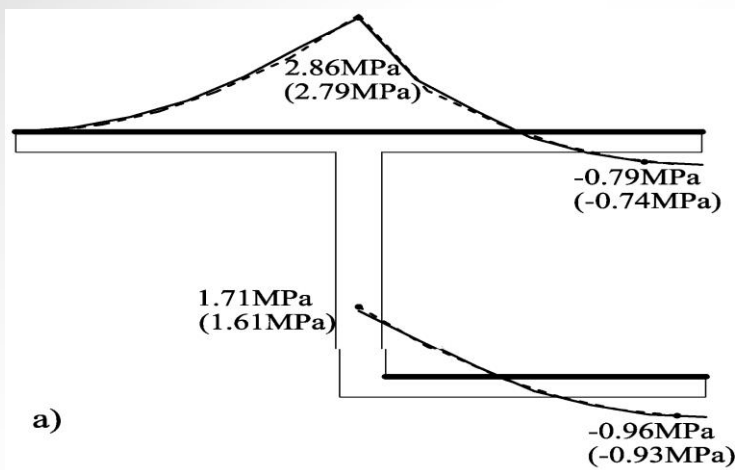
b)

四分点截面

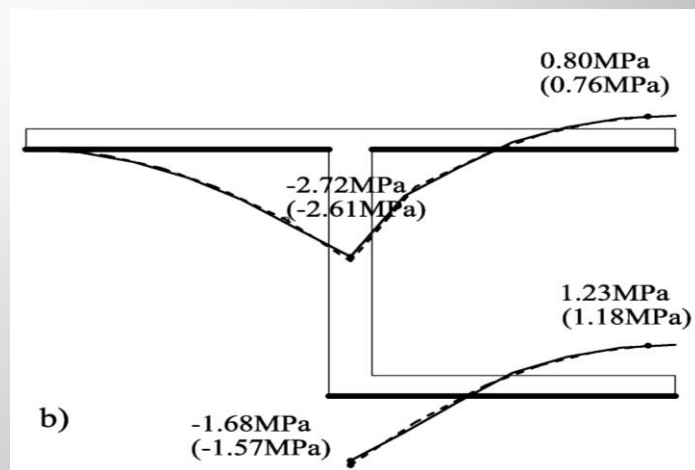
顶板剪力滞效应系数

空间网格实体对比

◆ 自重作用下



顶、底板的上层应力

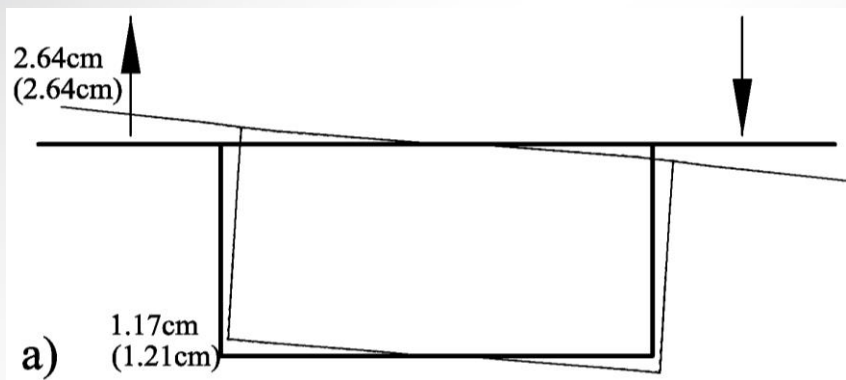


顶、底板的下层应力

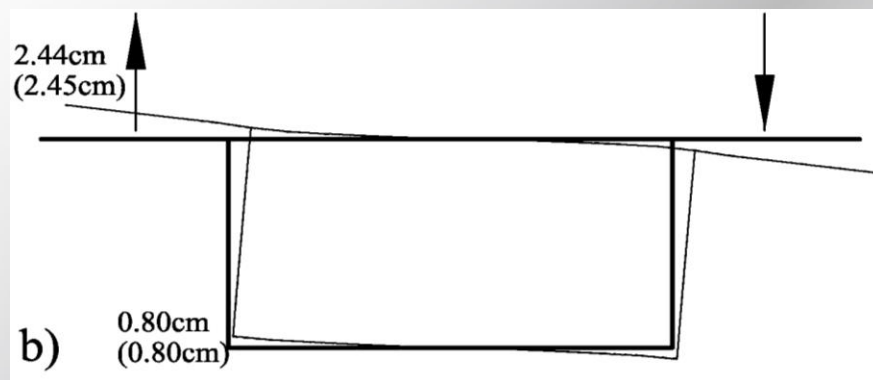
四分点横向弯曲应力分布

空间网格实体对比

◆ 反对称荷载作用下



跨中截面

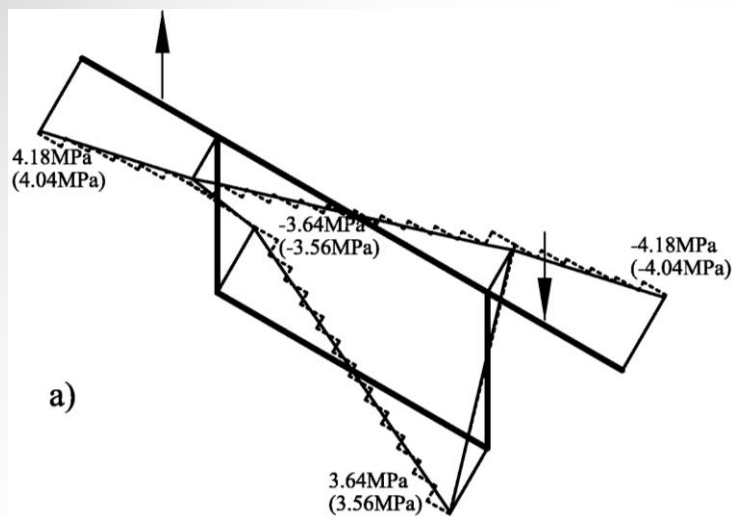


四分之一点截面

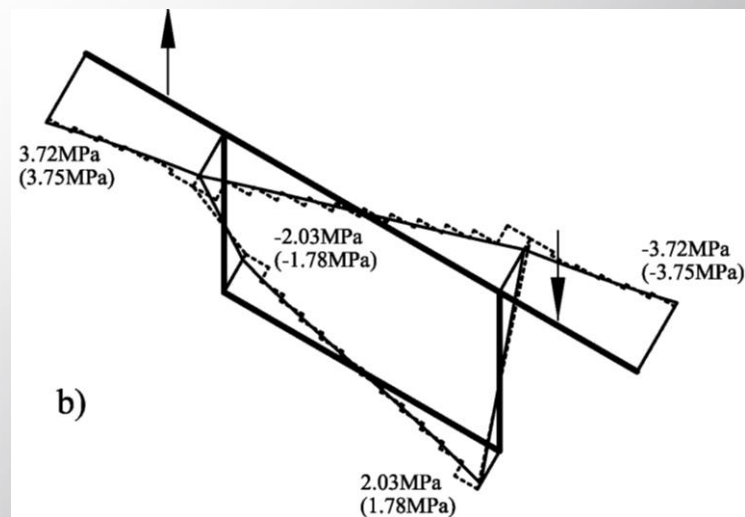
横截面竖向挠度

空间网格实体对比

◆ 反对称荷载作用下



跨中截面

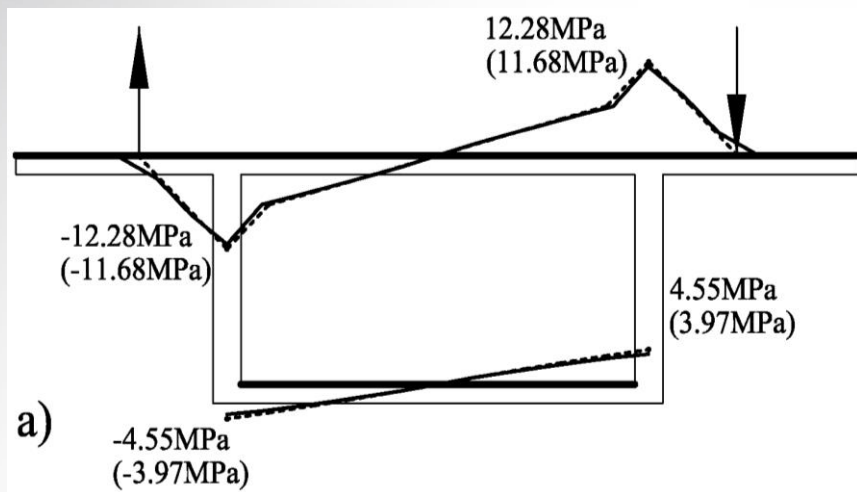


四分点截面

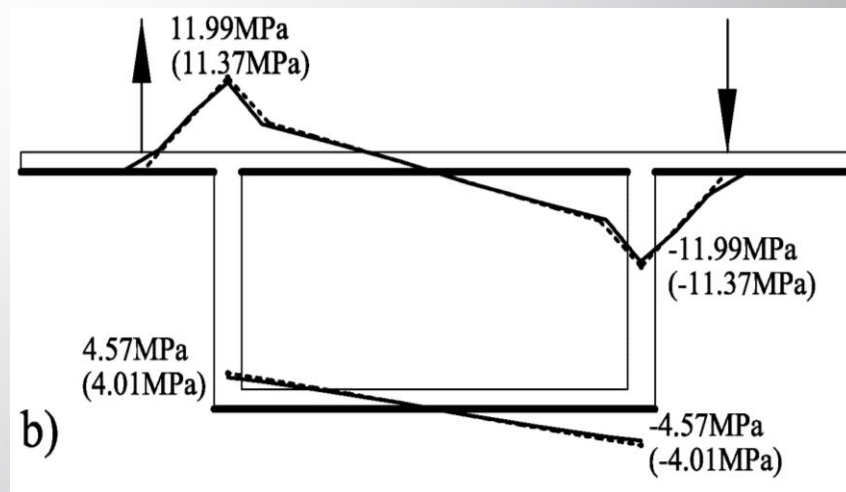
箱梁截面翘曲正应力分布

空间网格实体对比

◆ 反对称荷载作用下



顶、底板的上层应力

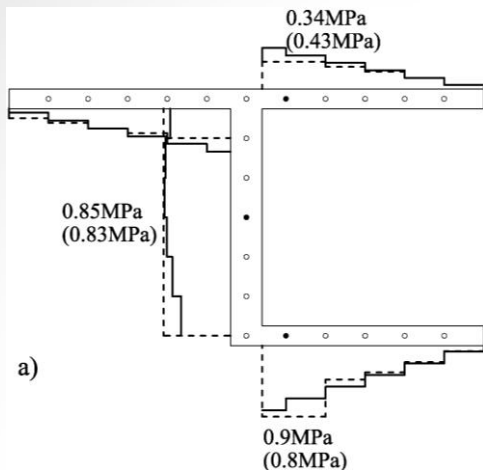


顶、底板的下层应力

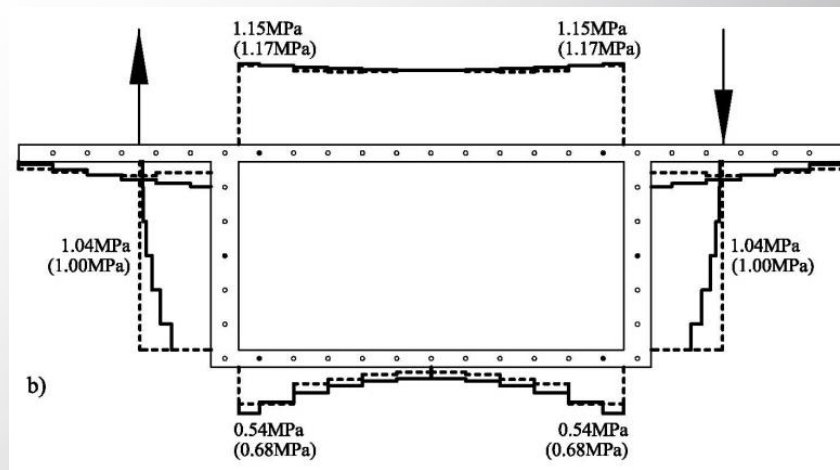
四分点横向弯曲应力分布

空间网格实体对比

◆ 剪应力对比



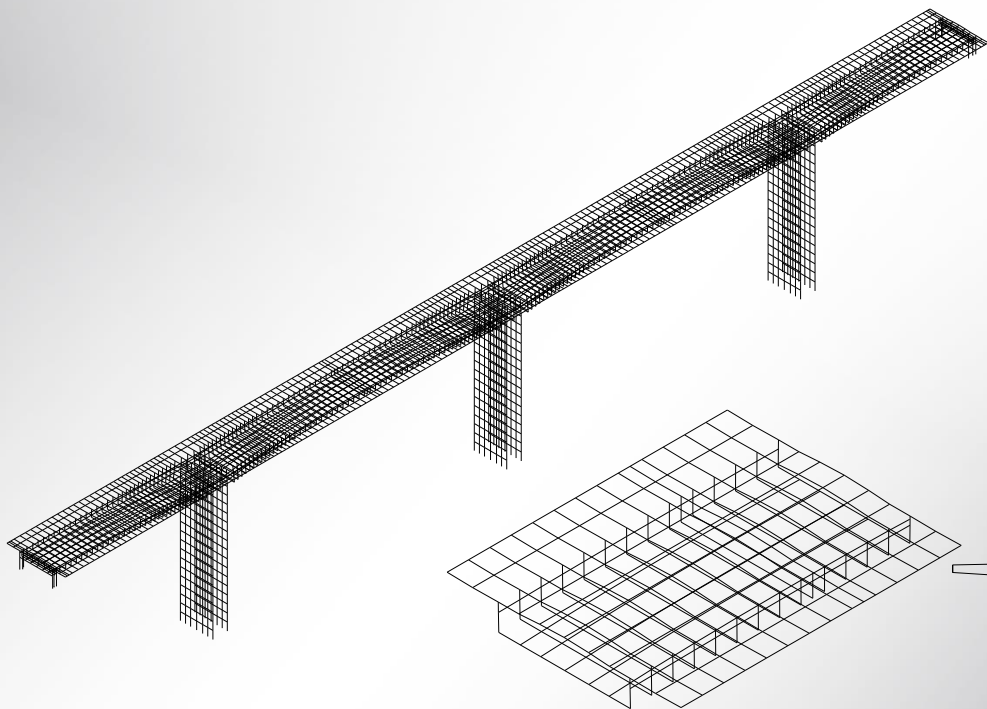
自重作用下



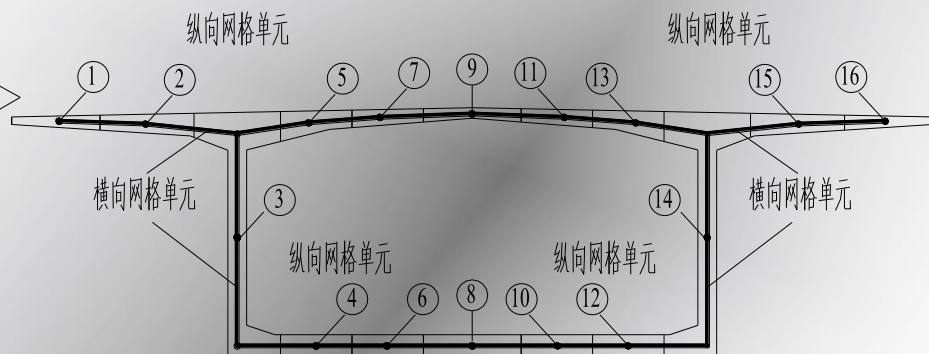
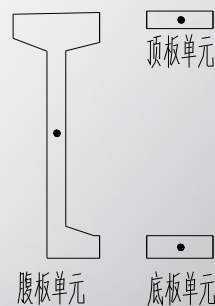
反对称荷载作用下

四分点位置截面剪应力

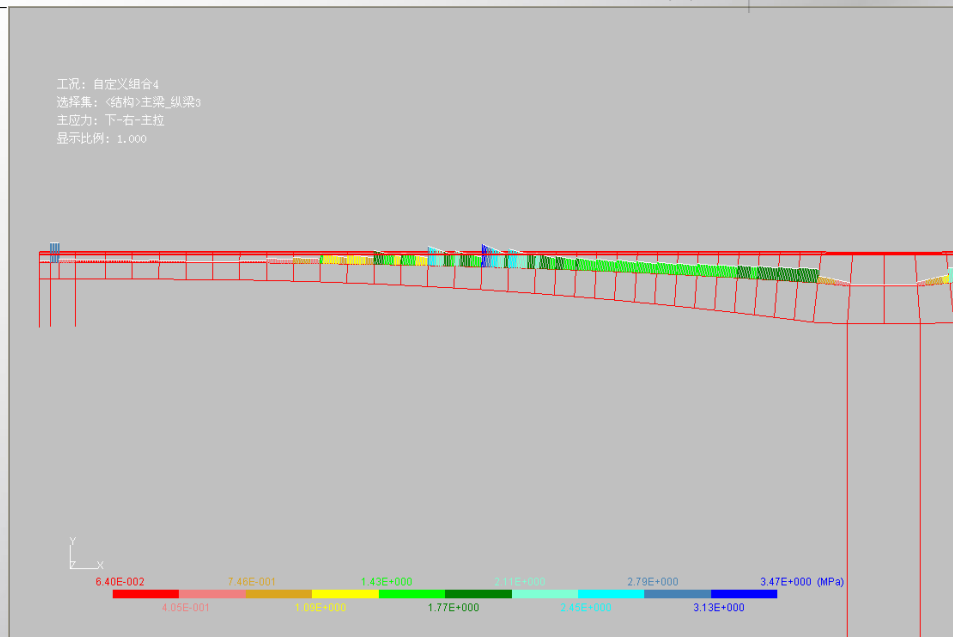
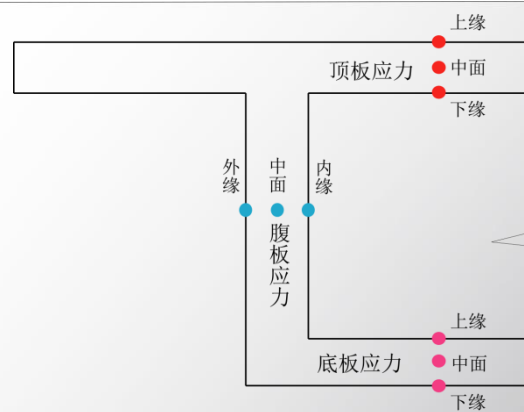
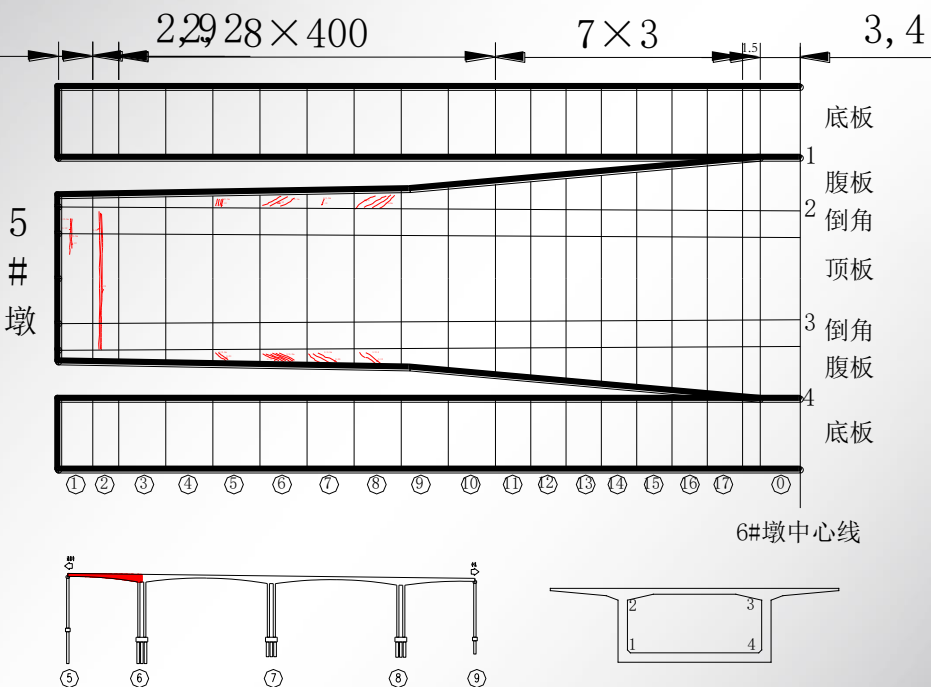
大跨连续刚构开裂下挠



跨径布置: 63m+110m+110m+63m



大跨连续刚构开裂下挠

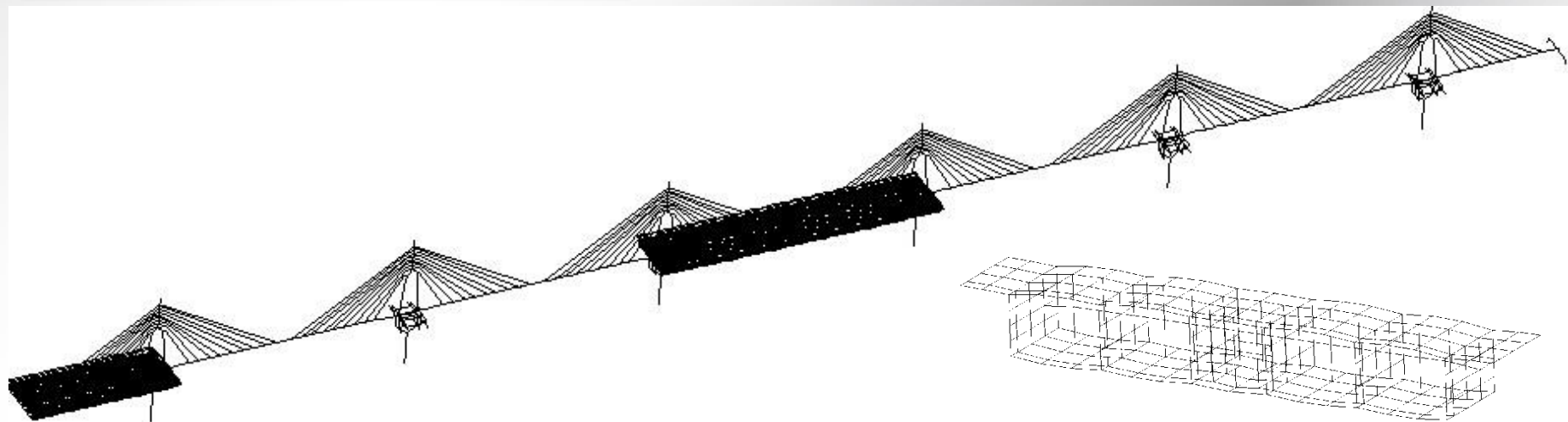


波纹腹板桥

朝阳大桥

七跨79+5*150+79米波纹钢腹板混凝土箱形单索面斜拉桥。

采用慧加空间网格进行详细计算分析，对结构各主要构件整体恒、活载进行受力分析。特别是对波纹钢腹板剪力分配、混凝土桥面板防裂的配筋给出重要建议。

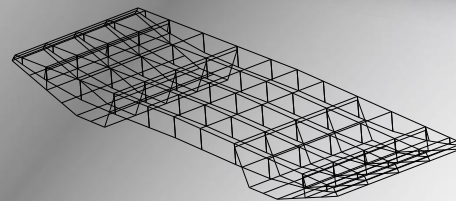
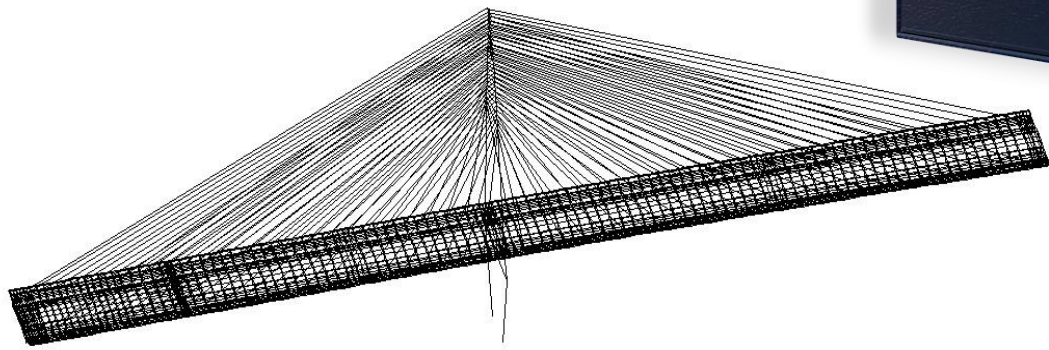


钢混组合梁斜拉桥

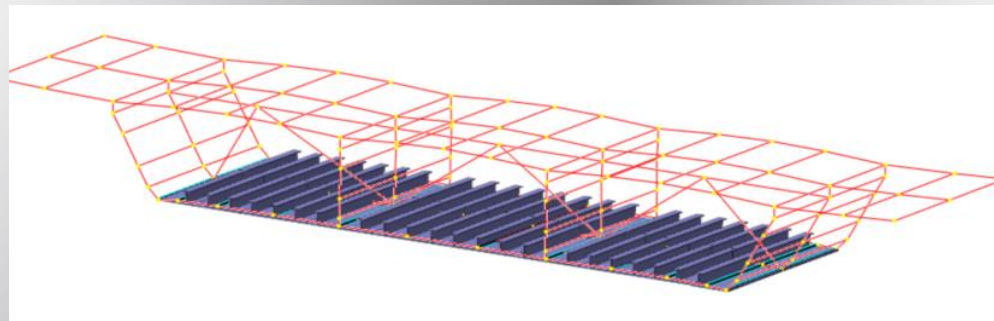
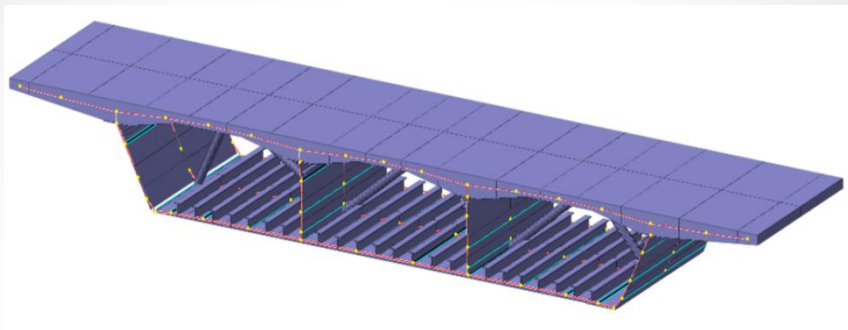
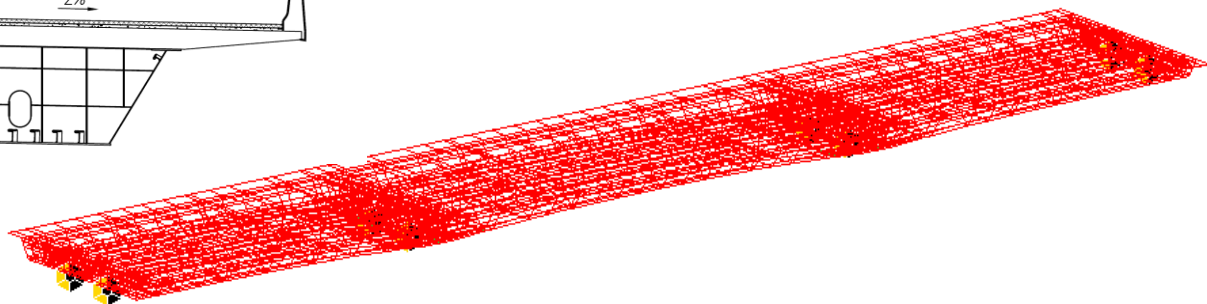
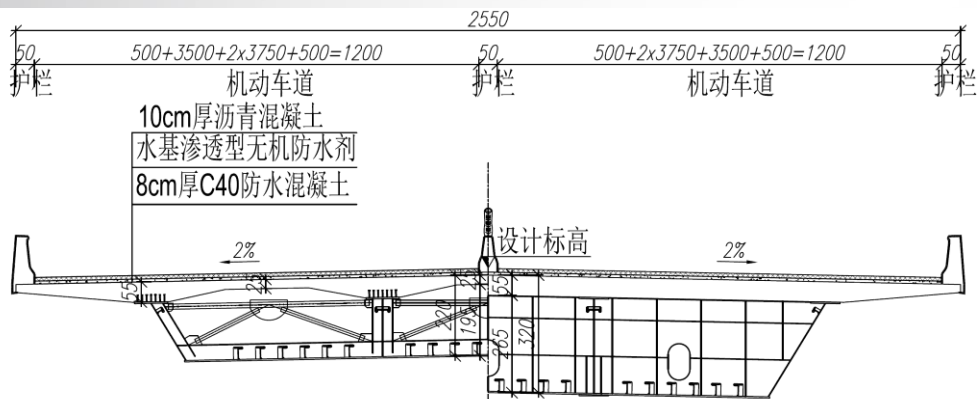
椒江二桥

双塔五跨钢-混组合梁斜拉桥，
70m+140m+480m+140m+70m。

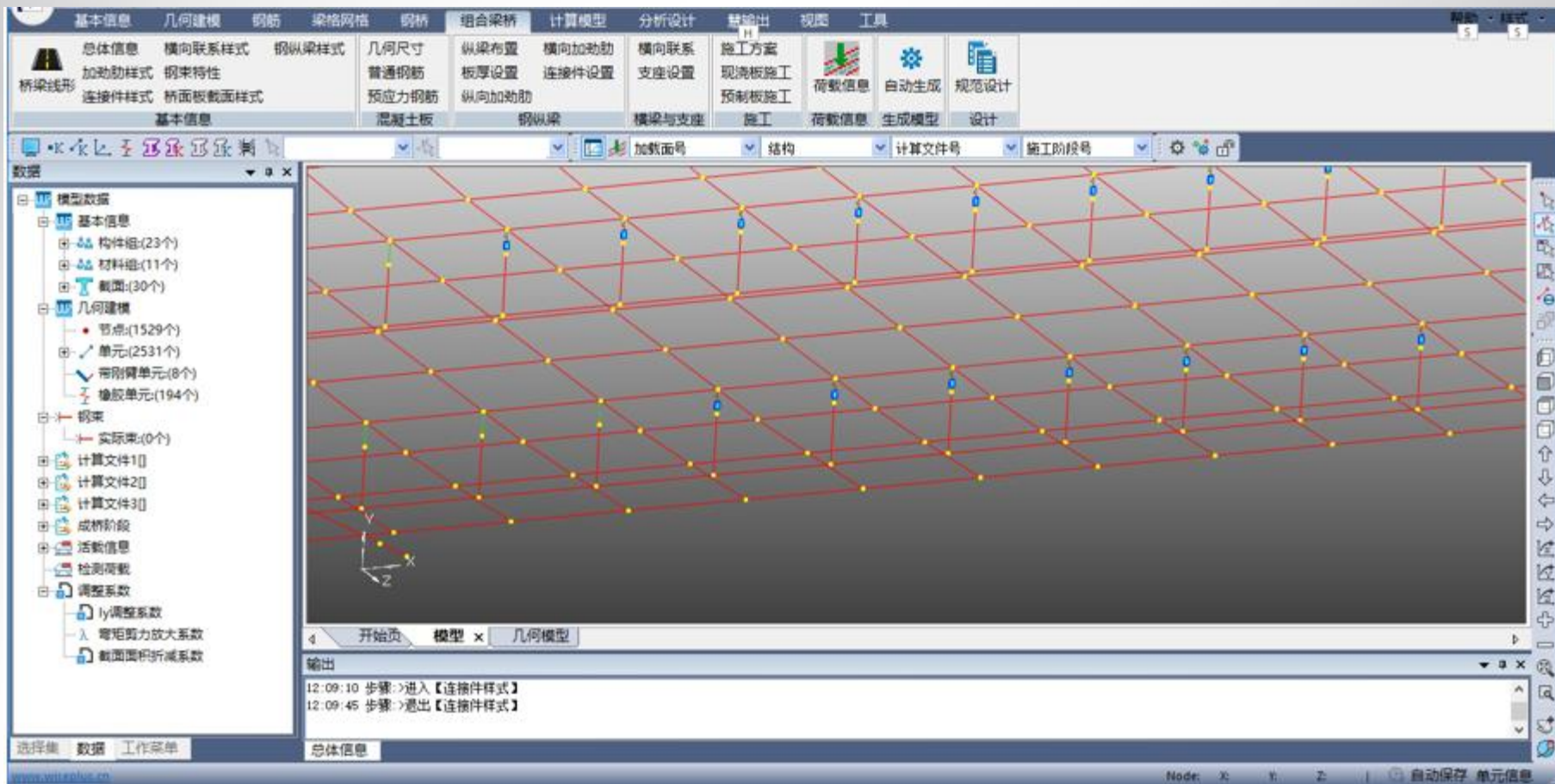
采用慧加软件的空间网格模型将此半封闭钢—混组合梁结构的空
间效应完全“拆解”，对结构各主要构件整体恒、活载进行受力分析。特别是对混凝土桥面板防裂的配筋给出重要建议。



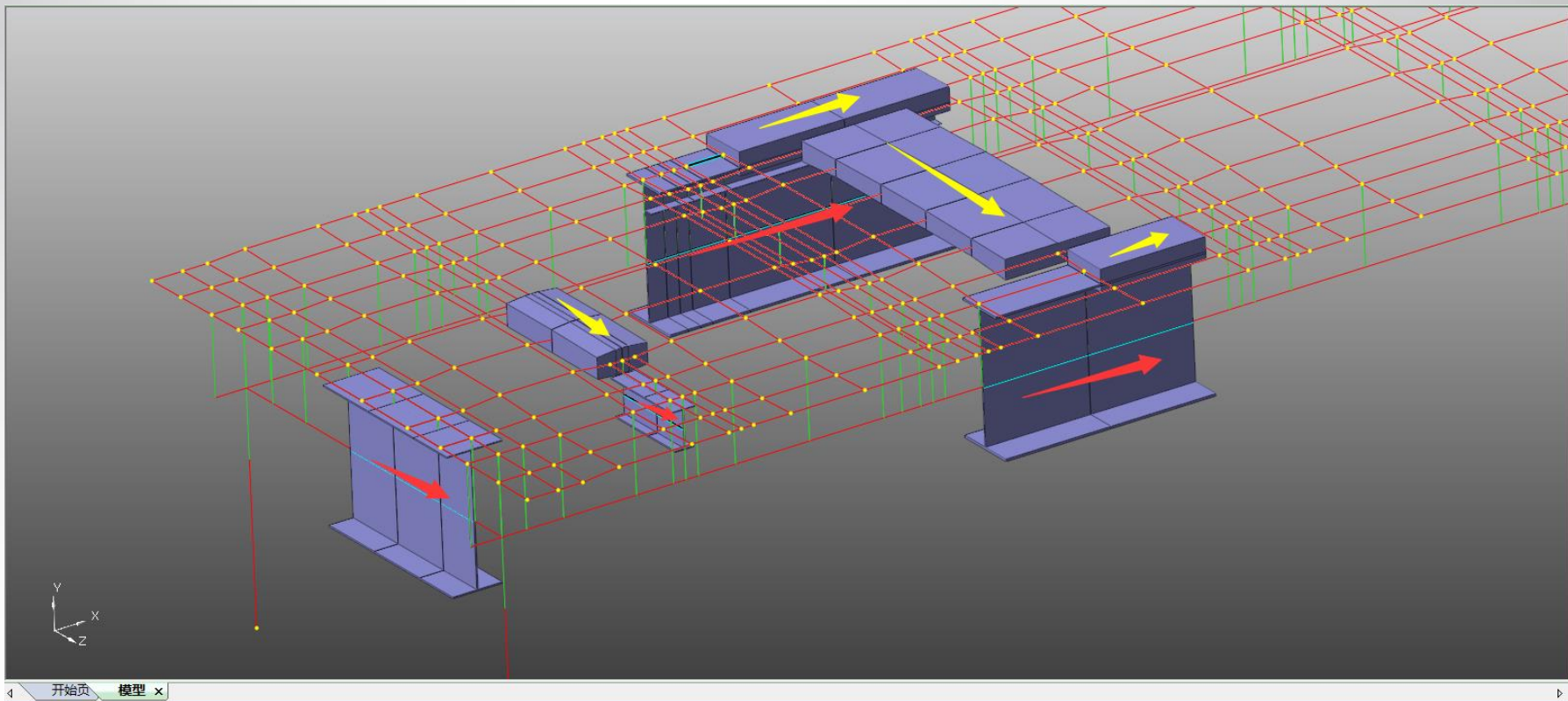
钢混组合槽型梁



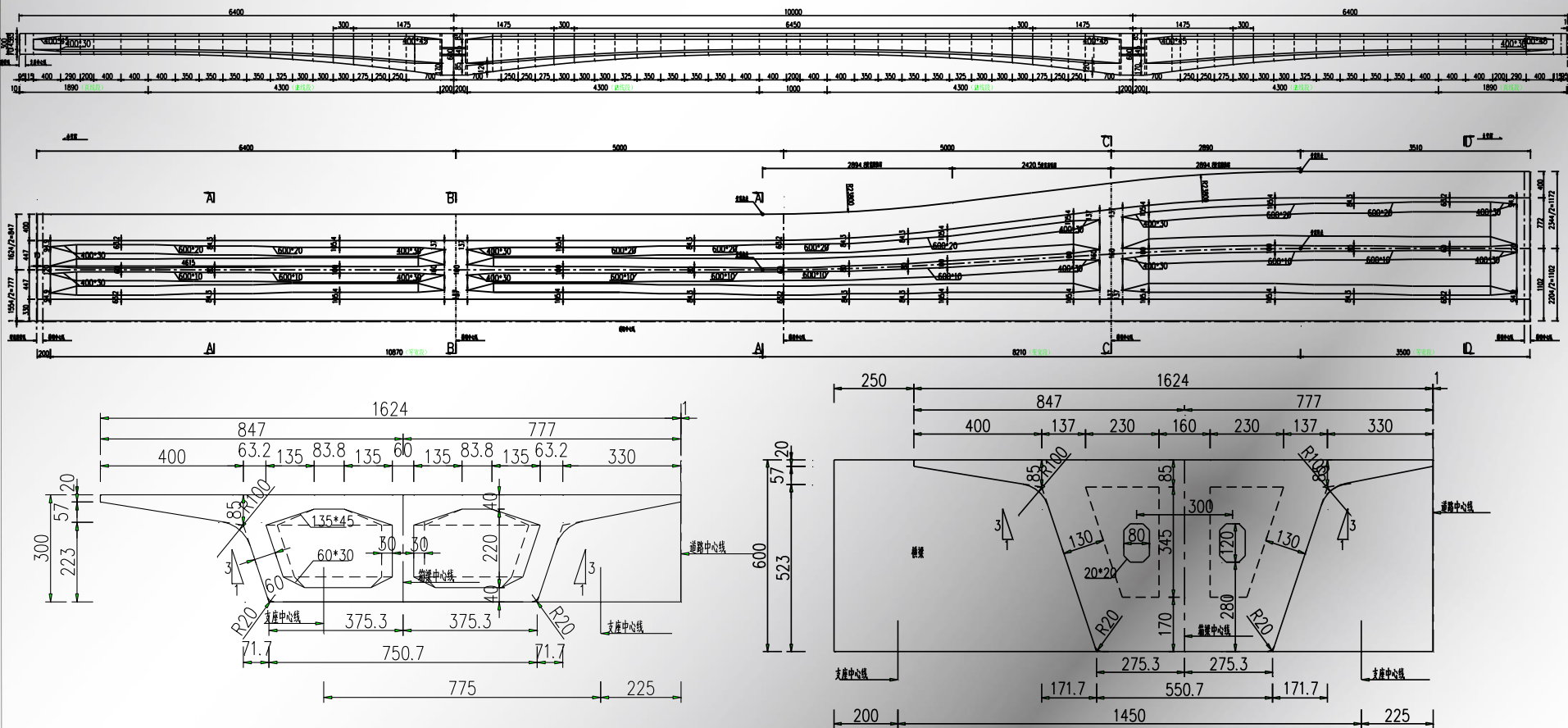
钢混组合梁桥模块——“智能化+精细化”



钢混组合梁桥模块——“智能化+精细化”



宽箱梁桥局部网格模型精细化分析



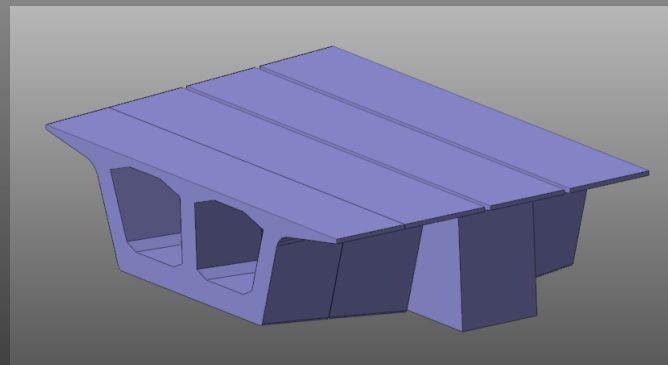
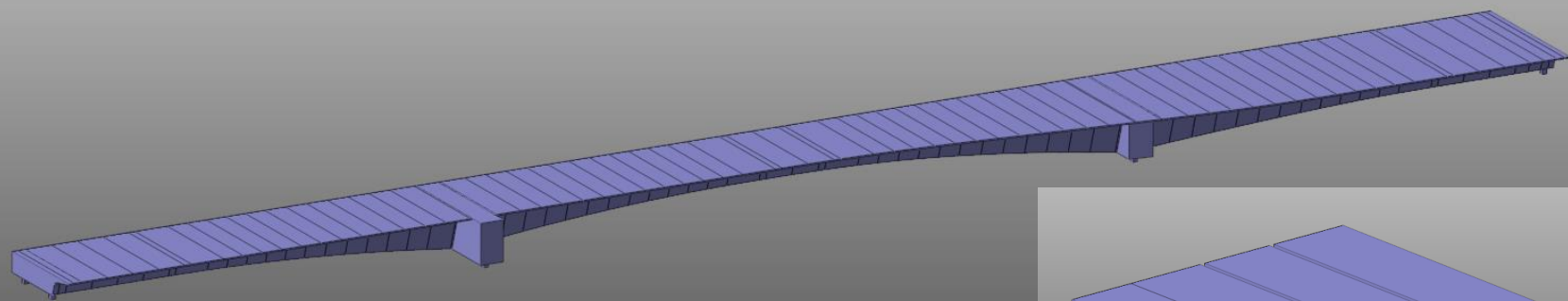
变高变宽连续箱梁

宽箱梁桥局部网格模型精细化分析

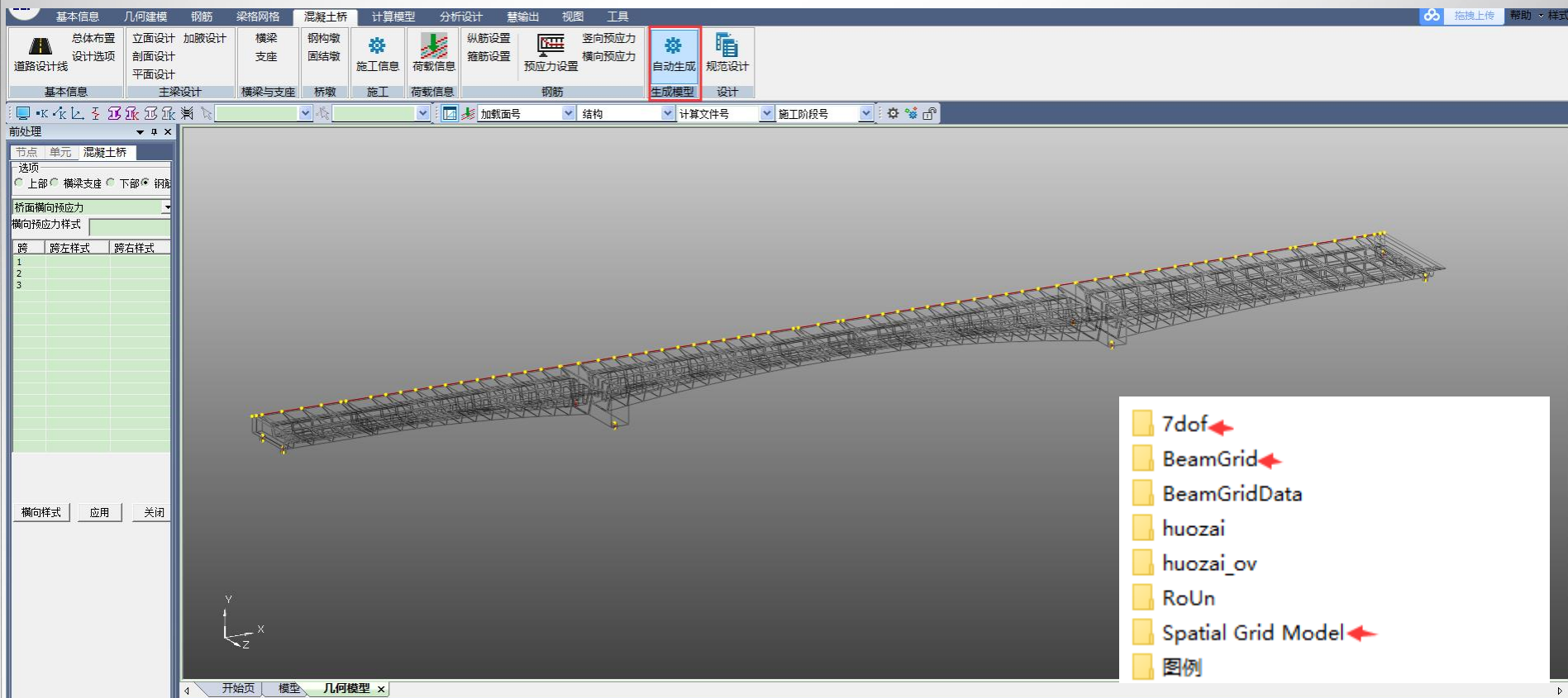
分析验算
智能化

- 选取位置：15m长度范围（《通规》车辆荷载的布置长度）
- 截面：自定义切割线、顶底板、腹板纵横梁划分（自动）
- 荷载：二期荷载横向分布（自动）、横向梯度温度（自动）
- 边界：两端腹板处约束（自动）
- 钢筋：预应力钢束（桥面板横向）、普通钢筋（截面自动分配）
- 剪力滞效应：自动考虑
- 腹板受力分配：自动考虑
- 薄壁效应：自动考虑
- 新规范计算书：桥面板横向分析（自动）

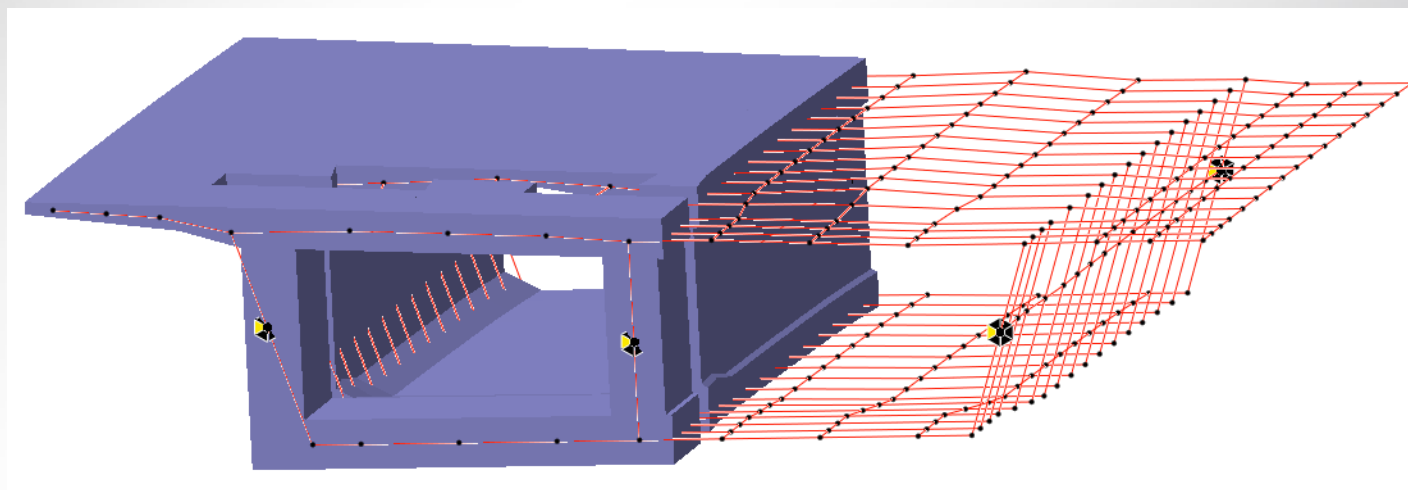
宽箱梁桥局部网格模型精细化分析



宽箱梁桥局部网格模型精细化分析



宽箱梁桥局部网格模型精细化分析



慧加 (WISEPLUS V4.2) “一键四模型” 智能化解决方案

构件/ 受力方向	部位	应力特征	对应有限元模型
顶板面外	上缘	纵向正应力 σ_{ToL}	6 自由度单梁、7 自由度单梁、折面梁格
	上缘	横向正应力 σ_{ToT}	局部空间网格
	下缘	横向正应力 σ_{TtT}	局部空间网格
顶板面内	中面	主应力 σ_{TP}	7 自由度单梁
底板面外	下缘	纵向正应力 σ_{BoL}	6 自由度单梁、7 自由度单梁、折面梁格
	上缘	横向正应力 σ_{BiT}	局部空间网格
	下缘	横向正应力 σ_{BoT}	局部空间网格
底板面内	中面	主应力 σ_{BP}	7 自由度单梁
腹板面内	中面	主应力 σ_{WP}	7 自由度单梁

谢谢您的聆听!