

中国石油工程建设协会

北京华思维信息技术有限公司

BEIJING HSOFTECHNOLOGIES INC.

<http://www.hsw.com.cn/>

**HSOFT**

☎ 010-68331789



# 开敞式钢结构设计软件 介绍与应用

2022.4.7

北京筑信达工程咨询有限公司

# 目录

01 研究背景

02 软件功能

03 技术路线

04 工程案例








# PART 01

## 研究背景



# 开敞钢结构特点

- 风直接作用在构件
- 设备、结构构件、梯子、栏杆风荷载导算

 无维护结构

- 设备模拟
- 设备刚度的影响
- 设备与结构的连接

 设备多

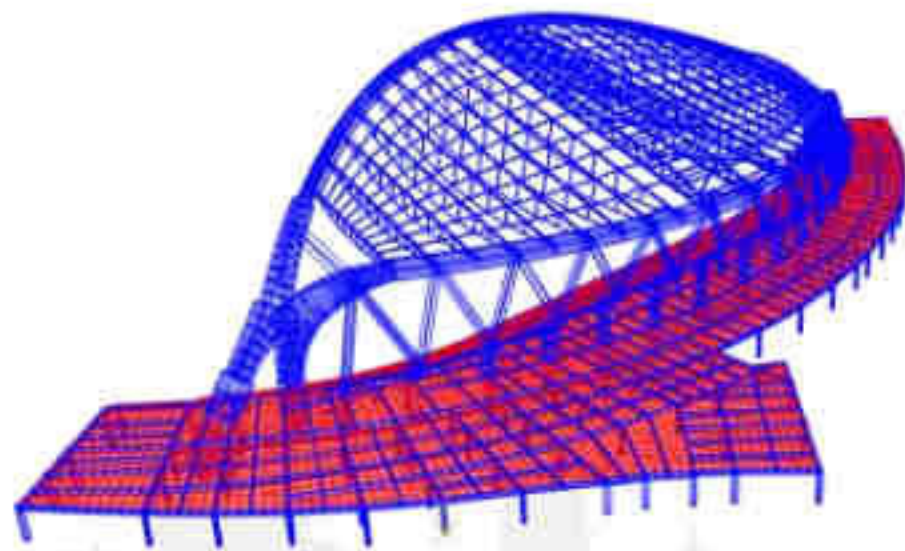
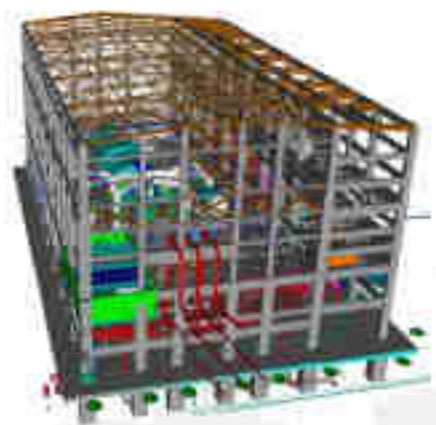
- 刚度有限，不符合平面内无限刚假定
- 柱失稳模式判别
- 地震内力调整方法

 楼板弱

# SAP2000有限元软件

## SAP2000 Structure Analysis Program

- 广泛应用于工业与民用建筑、公共建筑、道路、桥梁、水工、机械等各个行业领域。
- 强大的分析功能
- 一体化的设计功能





# SAP2000API 开放的应用程序接口



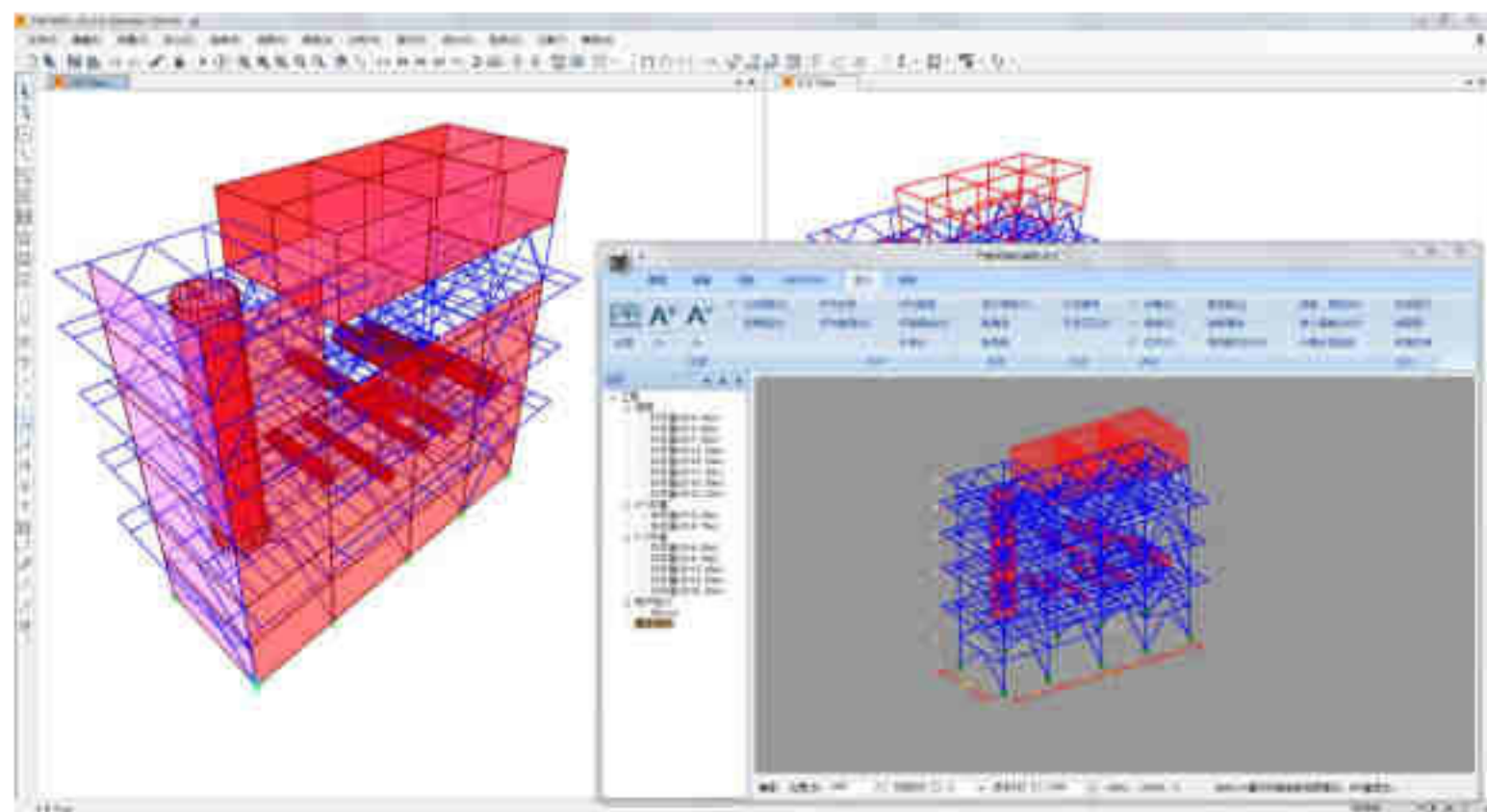
# CiSOpenSteel

覆盖开敞结构设计全过程

— 建模、分析、设计

基于SAP2000设计软件

— 调用SAP2000分析与设计





# 编制依据

## 国标及行业规范







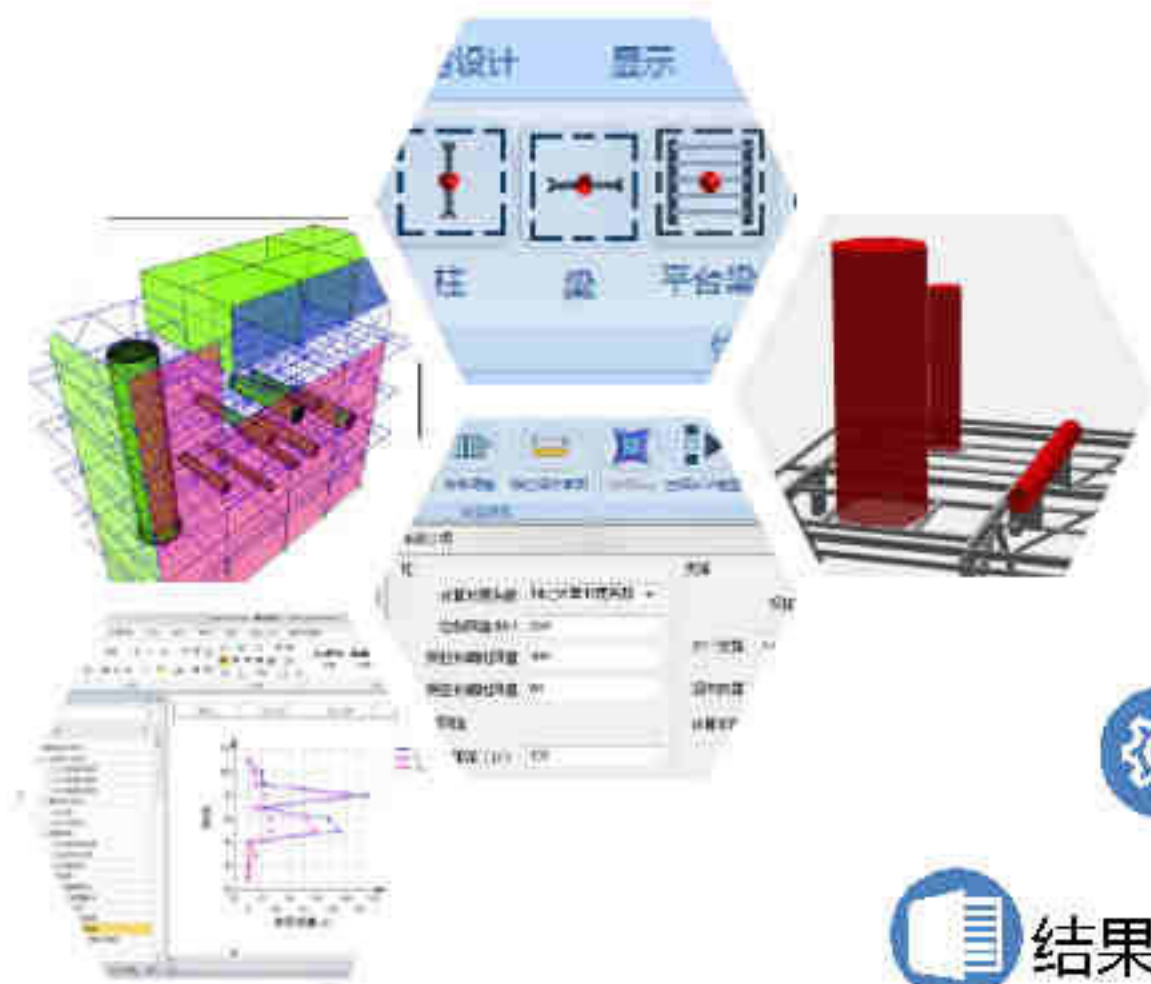
## PART 02


# 软件功能





# CiSOpenSteel功能

覆盖结构设计全过程



 高效的建模工具

 设备整体建模

 自动荷载处理

 设计参数处理

 结果输出





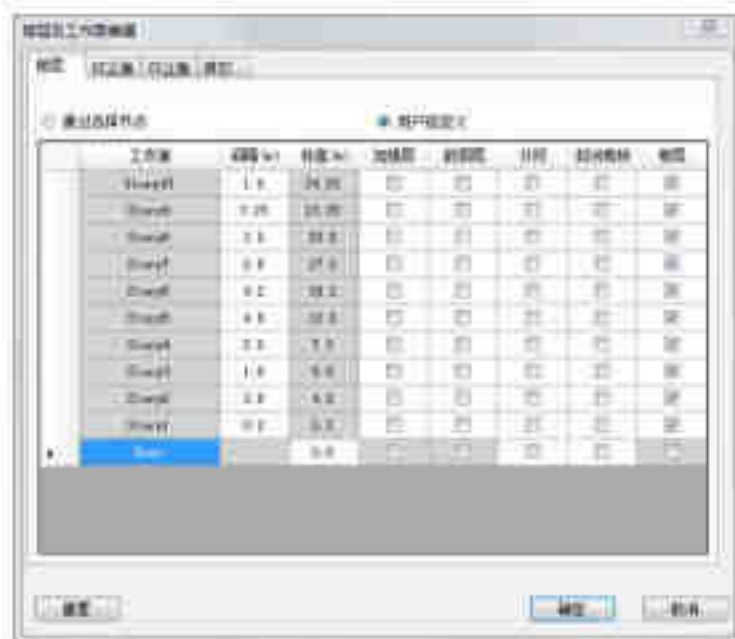
# 高效建模

## 集中管理工程信息



### 工程设置

工程参数统一输入调整



### 工作面设置

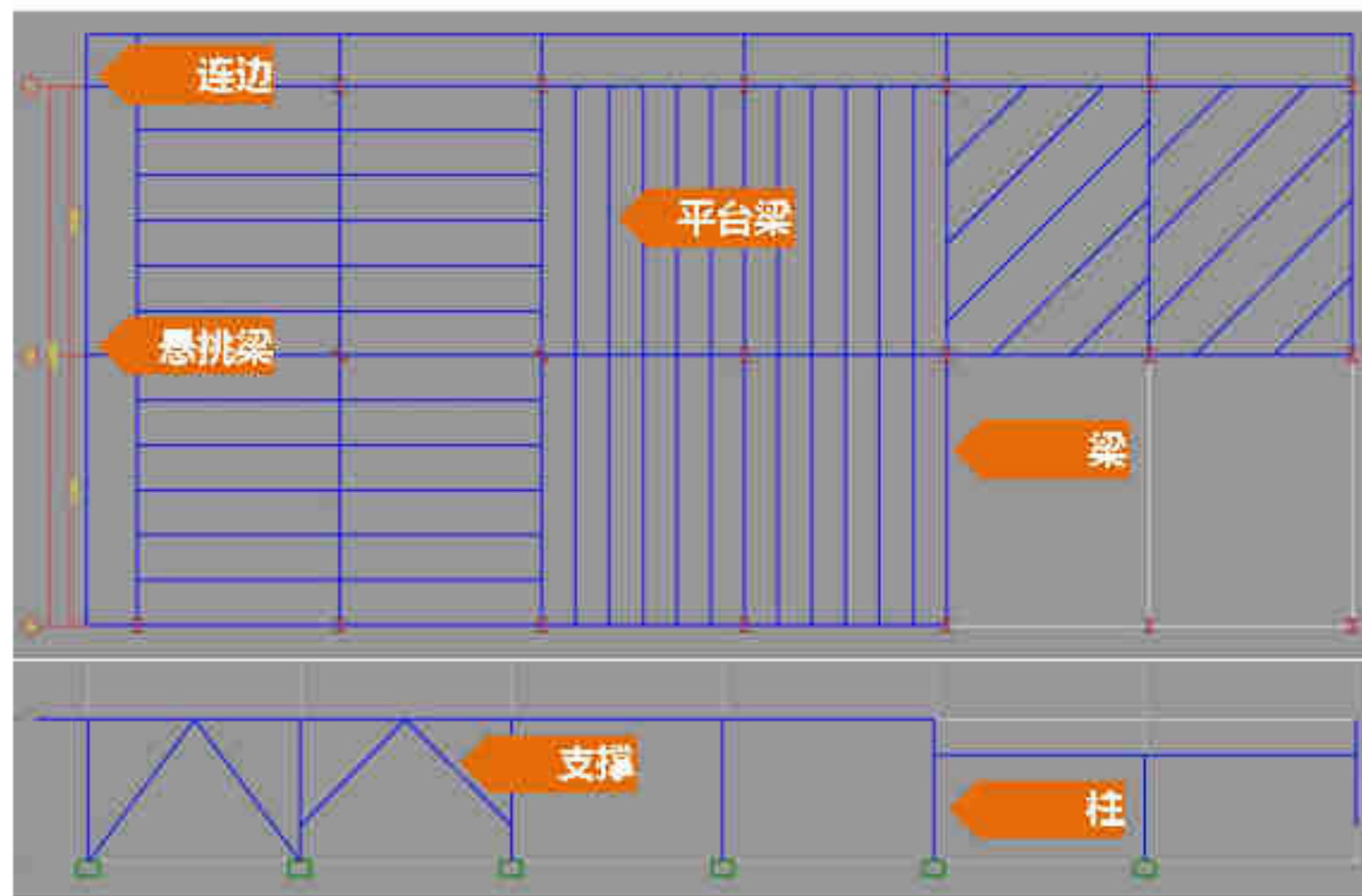
使用工作面的方式进行模型的查看与编辑



# 高效建模

## 快速建模工具

- 专用建模命令
- 附属构件建模
- 构件参数直接选择
- 多种布置方式
- 批量操作





# 高效建模

## 精确定位

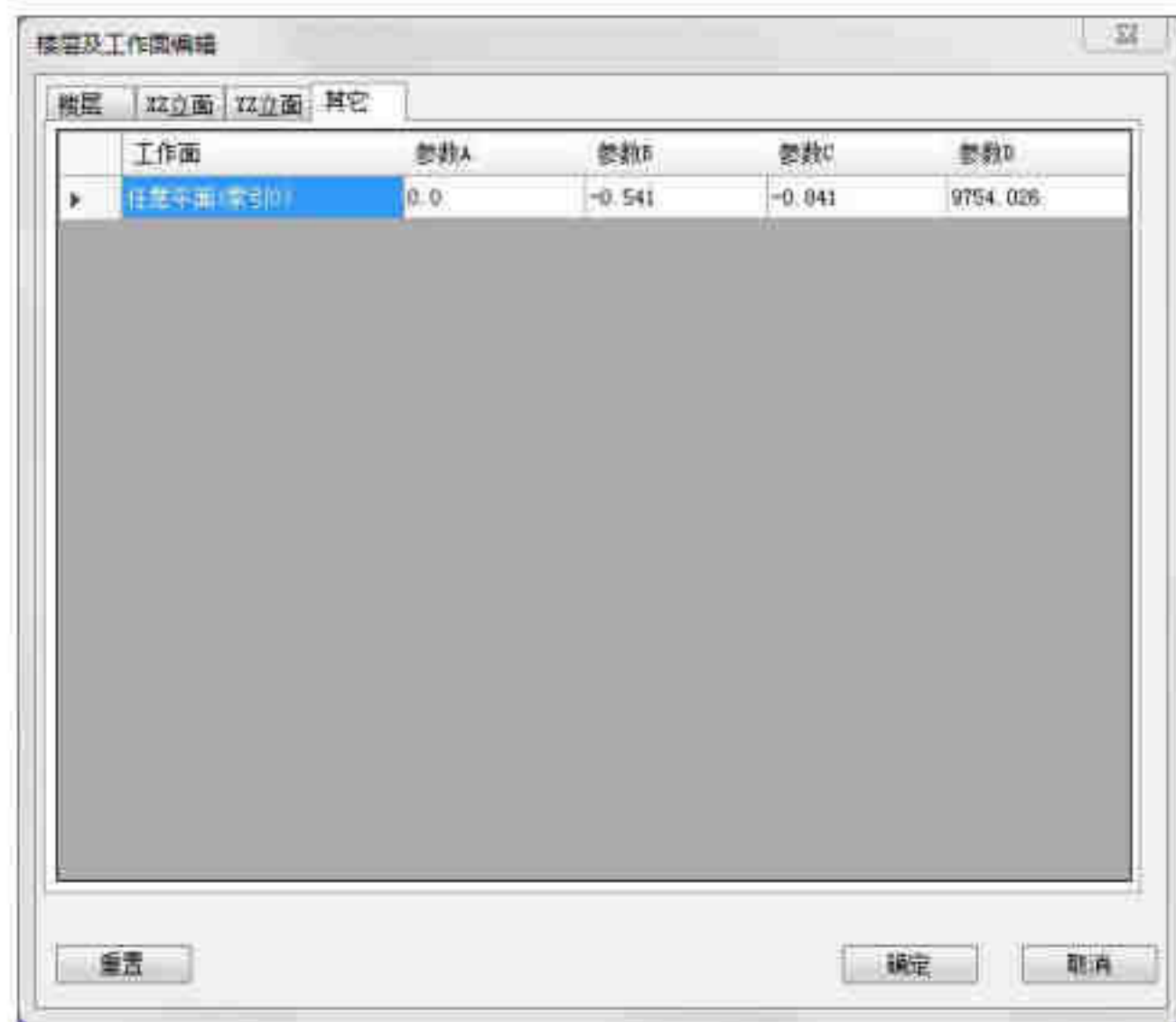
- 捕捉
- 坐标输入
- 参考点

## 自动处理

- 杆件类型
- 杆端约束

## 多种视图

- 平、立、三维
- 自定义任意工作面





# 高效建模

## 视图



视图灵活切换



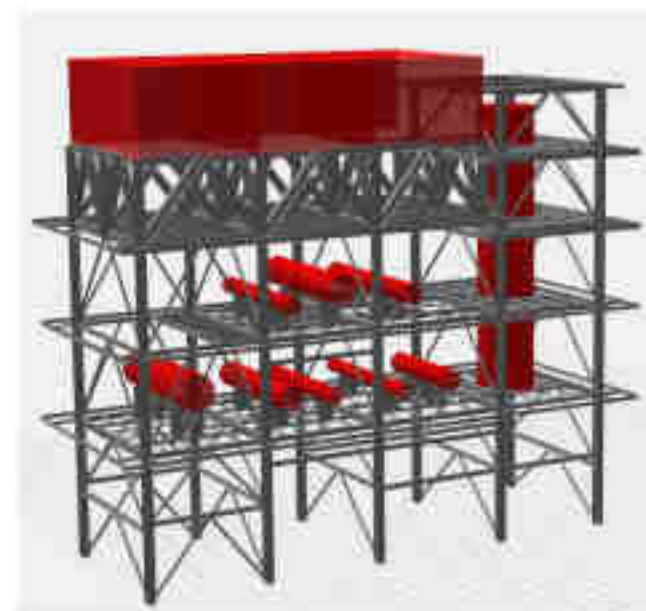
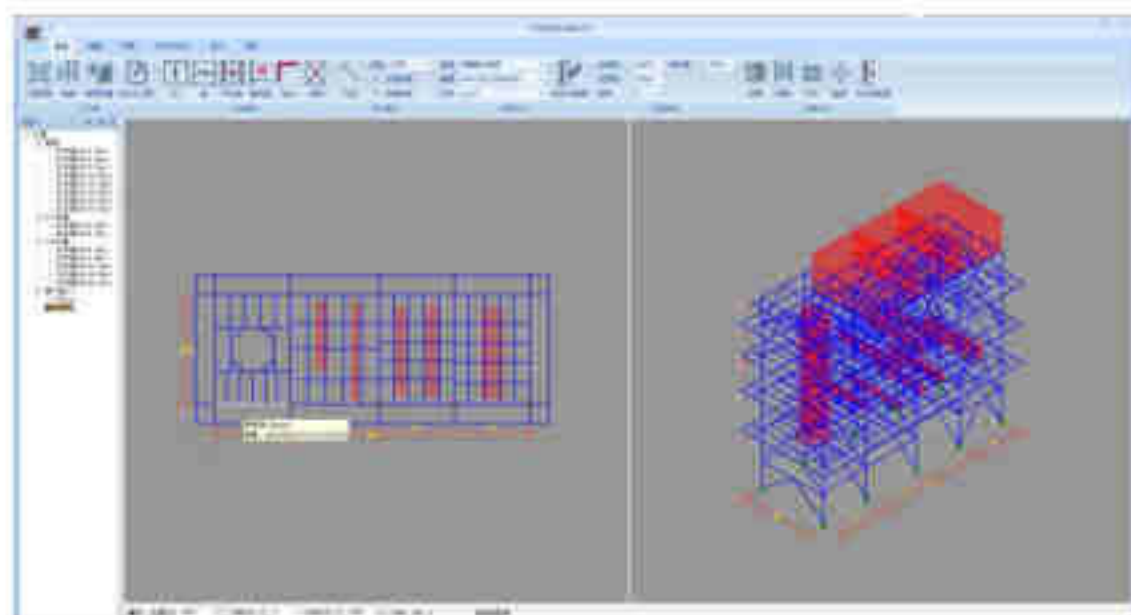
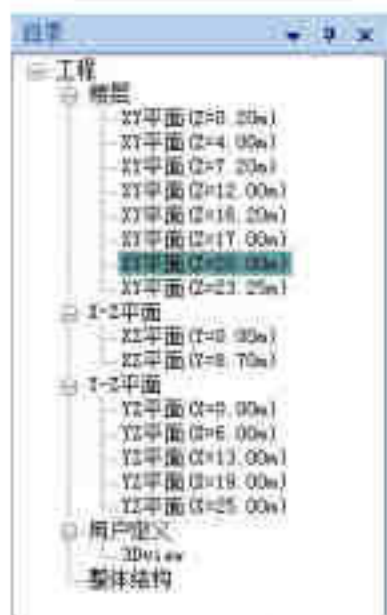
显示内容多样



双视图



效果图显示



# 高效建模

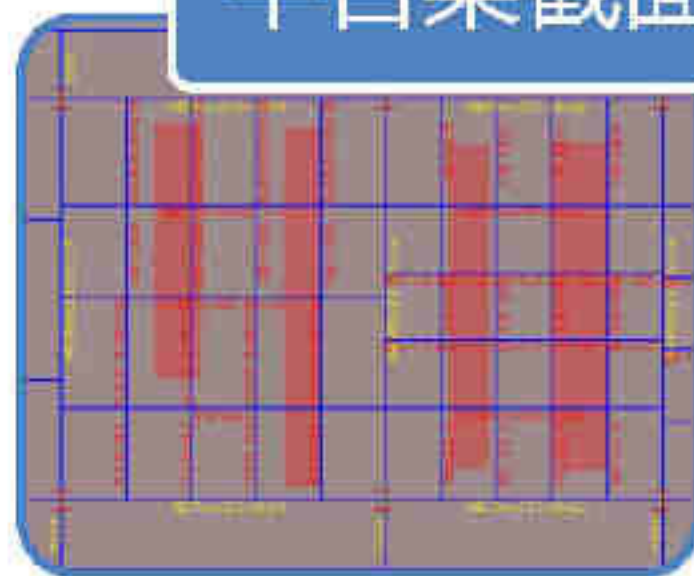
## 平台梁截面确定-一键选梁



杆件布置  
杆件间的关系  
杆件荷载  
截面库备选截面

结构数据

平台梁截面





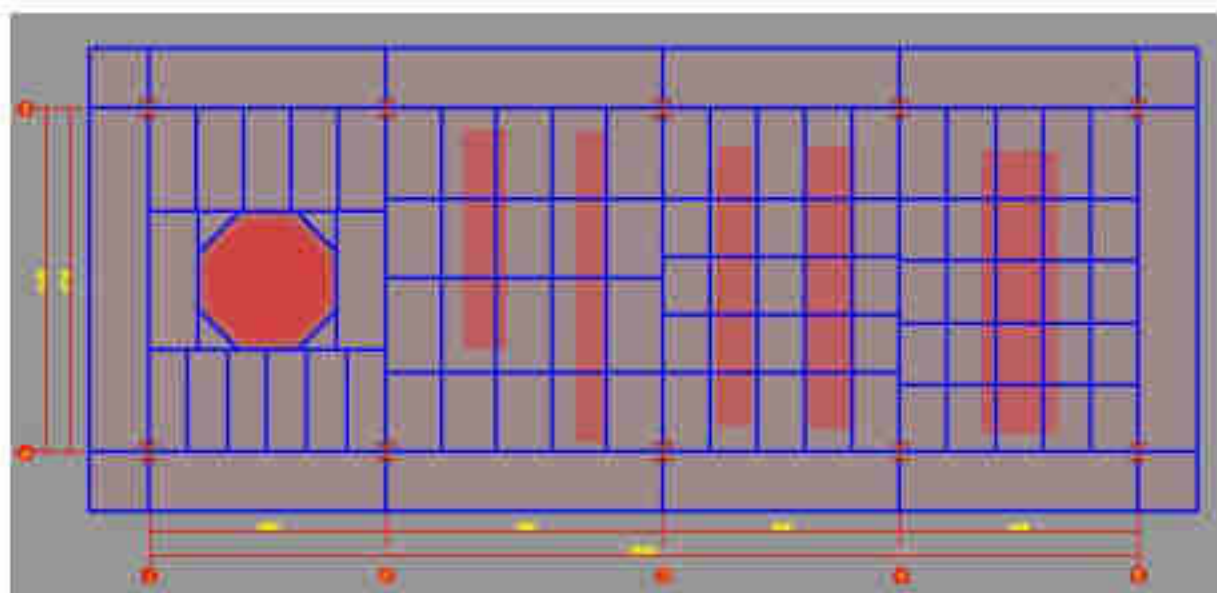
# 高效建模

## 楼板的处理

- 一键生成
- 单向板导荷
- 可设置板有无
- 面荷载指定与修改



楼板多、刚度小



面荷载

平台自重 (kN/m<sup>2</sup>) 0.32

平台活载 (kN/m<sup>2</sup>) 2

平台附加活载 (kN/m<sup>2</sup>) 2



恒荷载 (kN/m<sup>2</sup>) 0.4

活荷载 (kN/m<sup>2</sup>) 2.0

面荷载

附加荷载(kN/m<sup>2</sup>) 2.0

楼板荷载

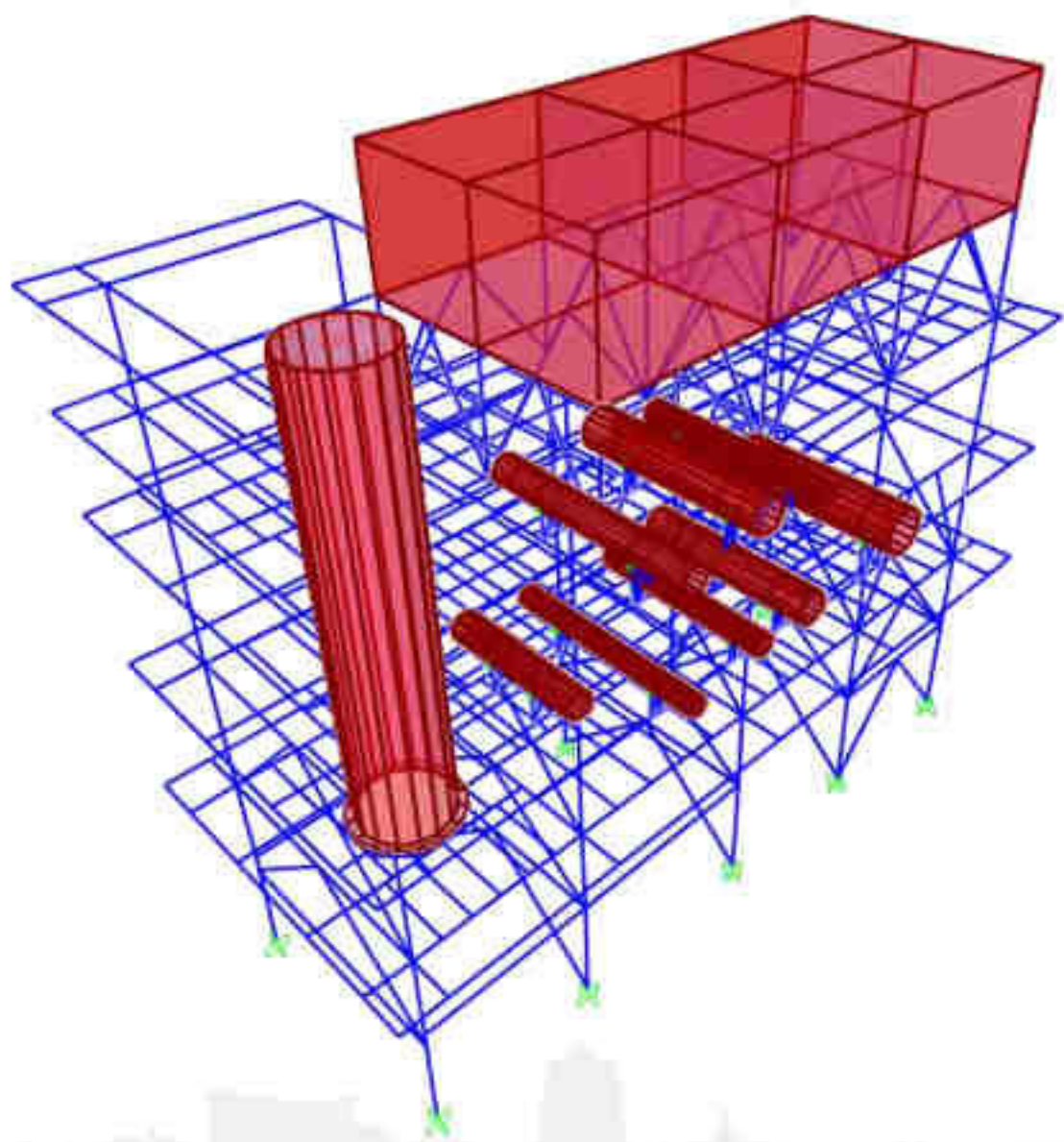
# 设备整体建模

## 设备类型

- 立式设备、卧式设备、空冷设备

## 建模处理

- 建立整体建模
- 荷载指定
- 设备与结构连接



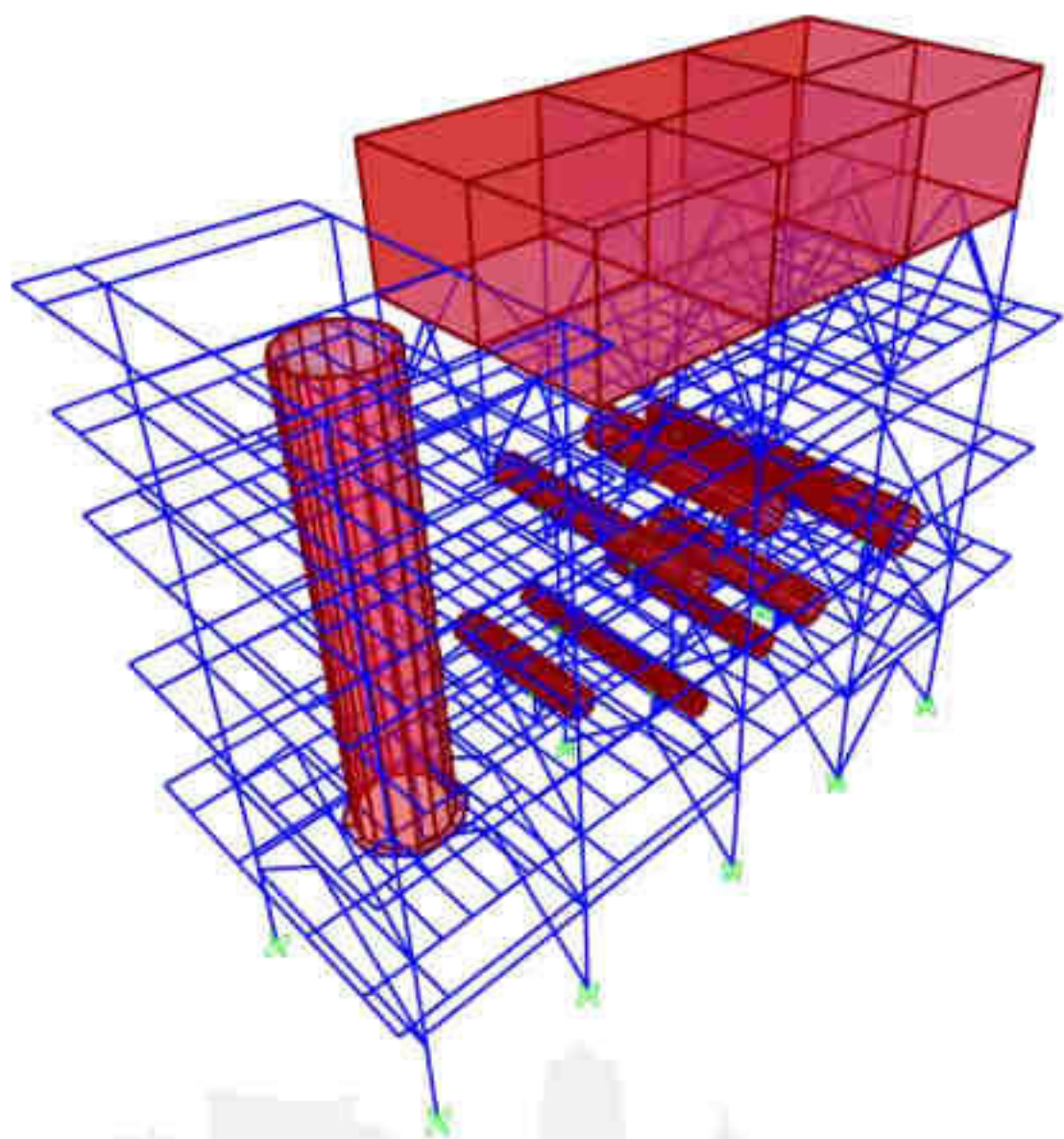
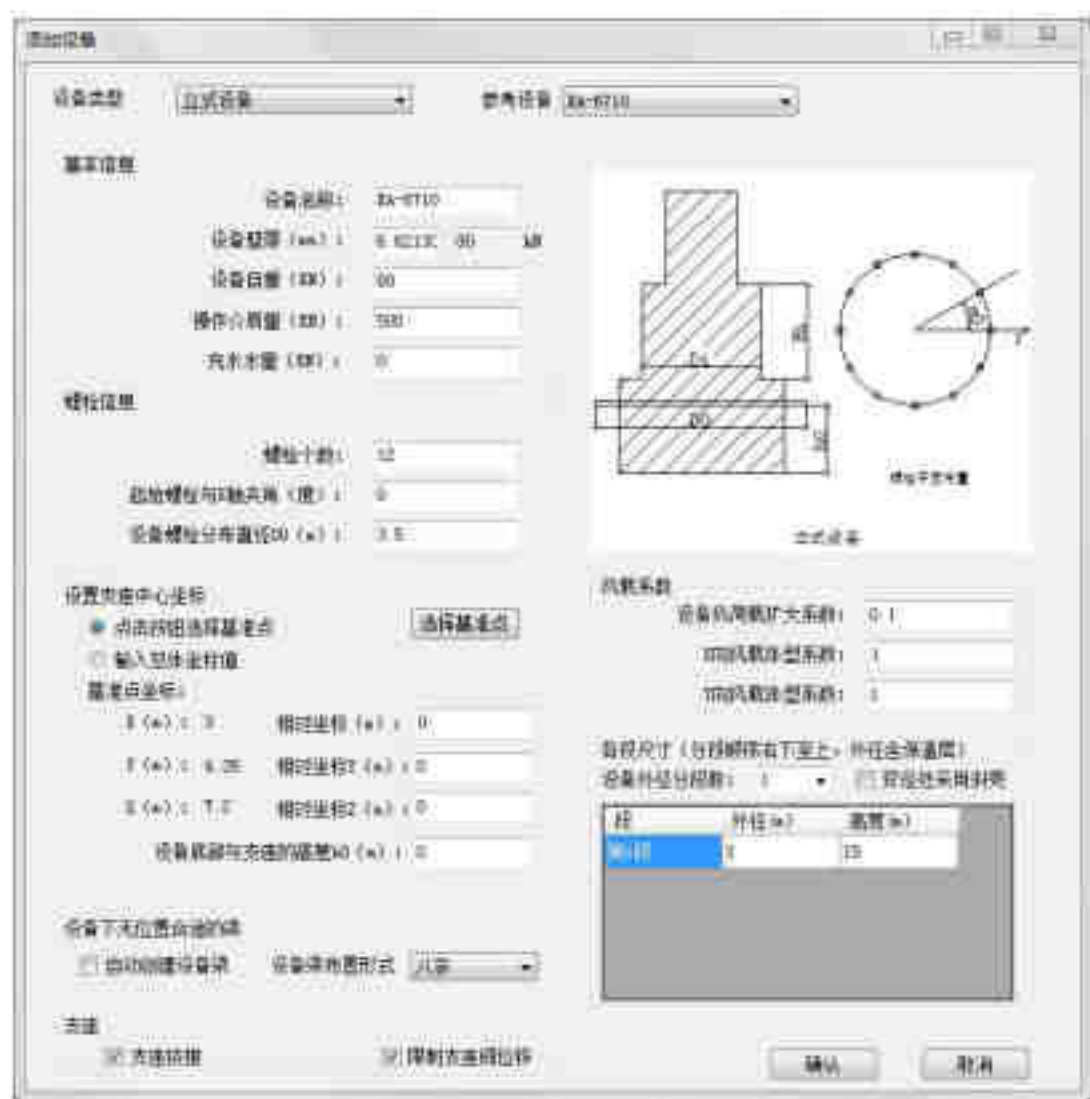
刚度、质量分布的模拟



# 设备整体建模

## 软件操作

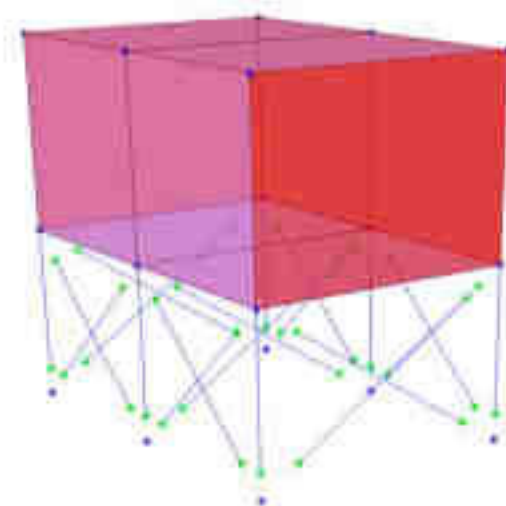
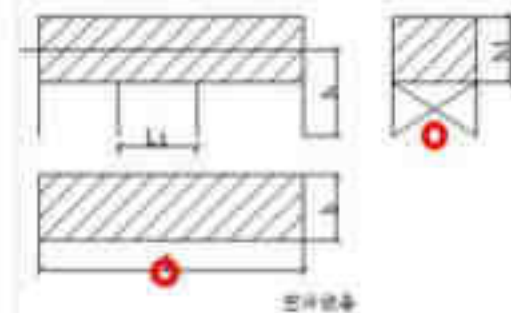
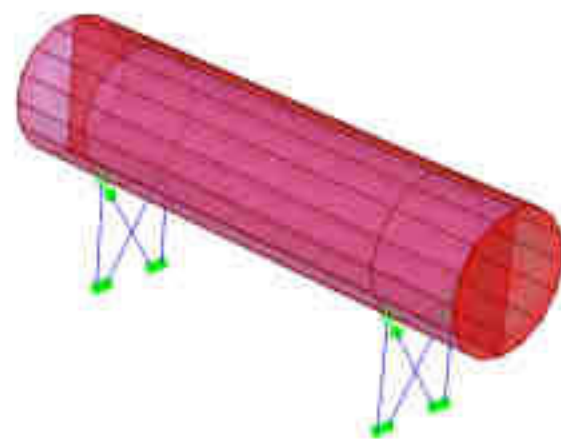
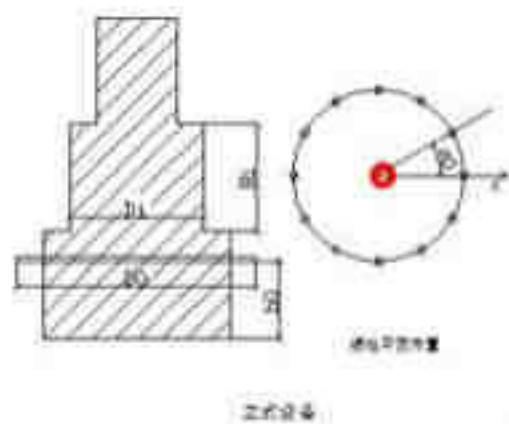
### — 参数化方式建立模型



# 设备整体建模

## 软件操作

### — 参数化方式建立模型





# 设备整体建模

## 自动创建设备梁

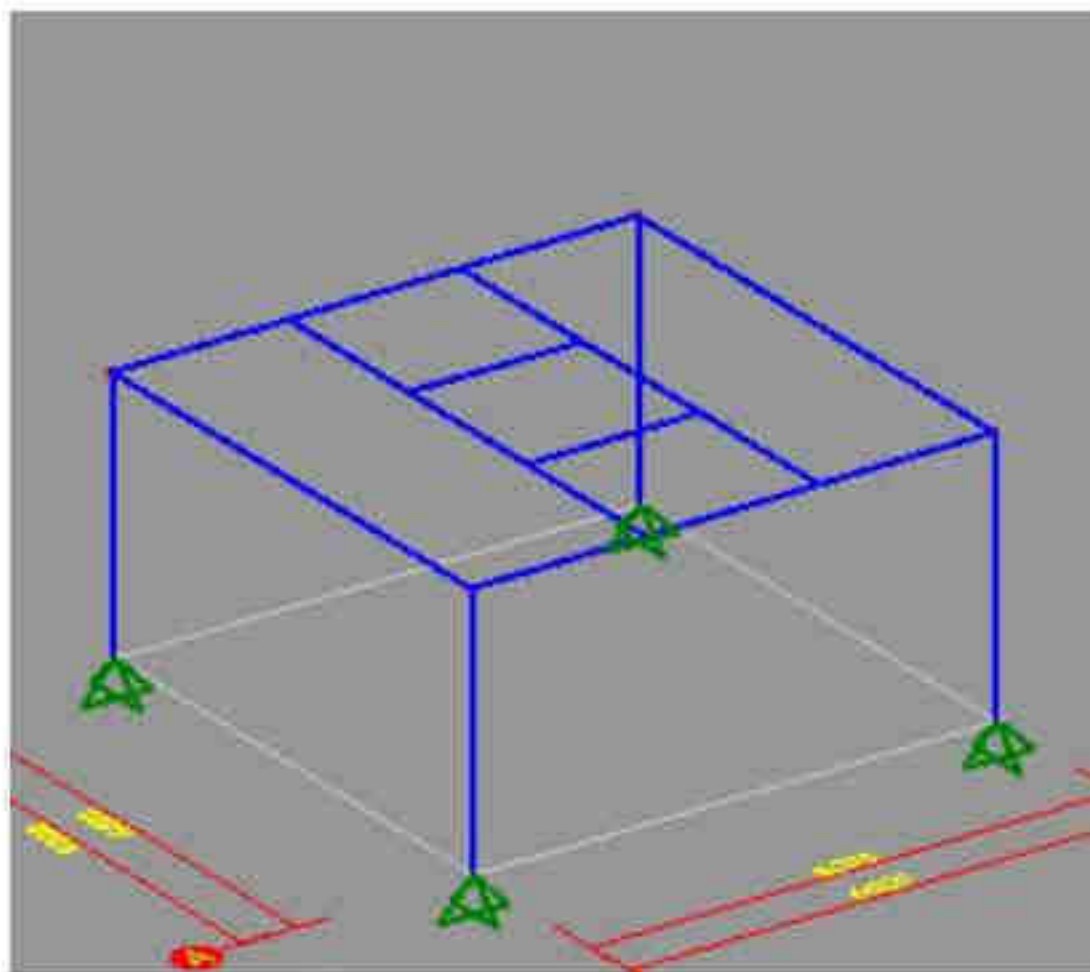
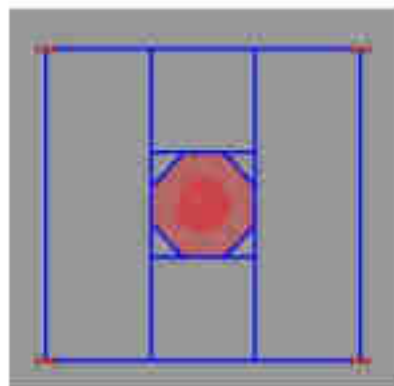
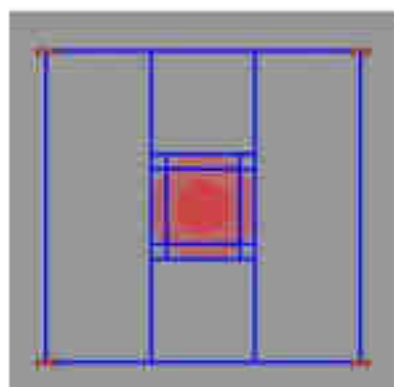
- 立式设备根据螺栓位置和选择的形式建立设备梁
- 卧式设备、空冷设备根据支座位置建立设备梁

设备下无位置合适的梁

自动创建设备梁

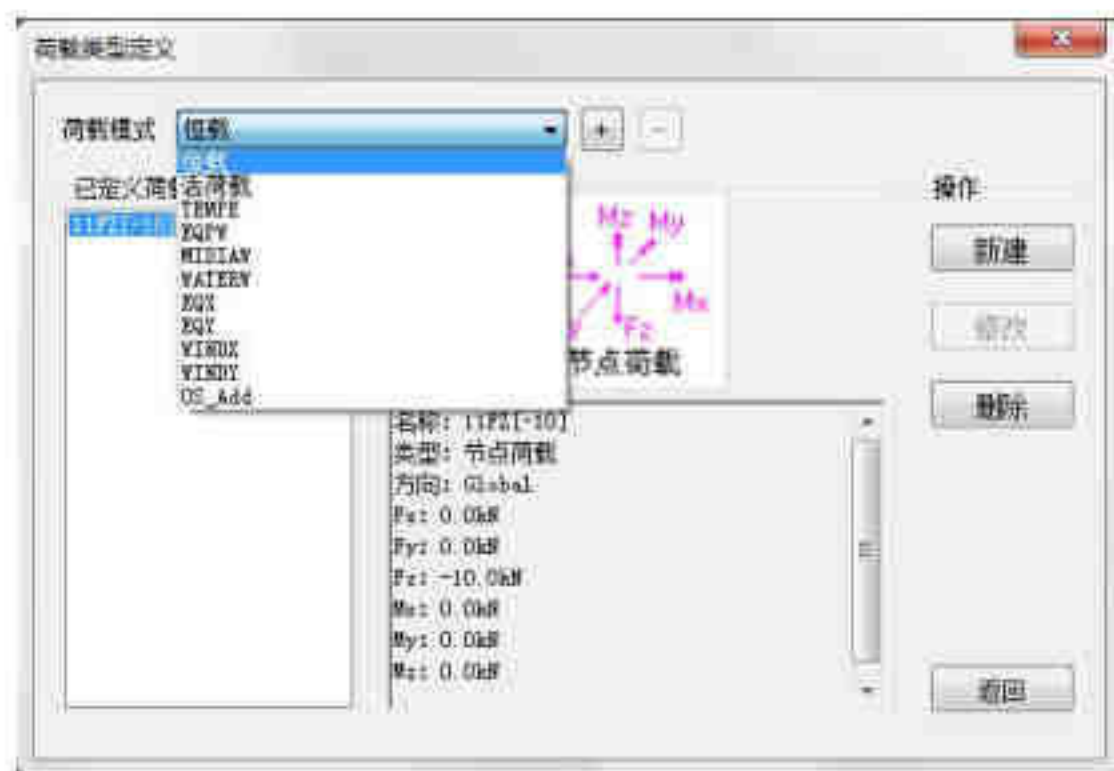
设备梁布置形式

井字



# 自动荷载处理

## 荷载预定义



DEAD

LIVE

TEMPE

MIDIAW

WATERW

EQX

EQY

WINDX

WINDY

user

## 荷载



# 自动荷载处理

## 荷载组合自动生成 支持多种编辑方式

SHT 3077-2012 7.3.3

正常  
操作

设备自重、结构自重、介质重、保温重、  
平台均布活荷载、设备荷载、温度荷载、  
风荷载

停产  
检修

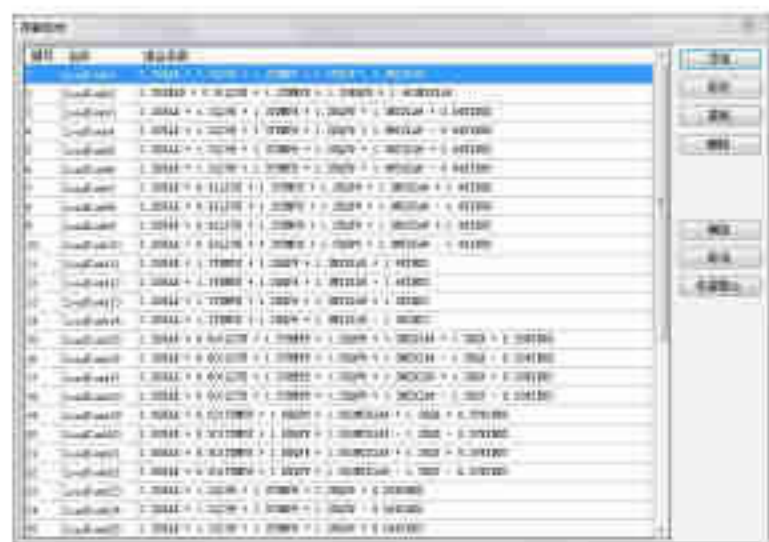
设备自重、结构自重、保温重、平台均布  
活荷载、风荷载

充水  
试压

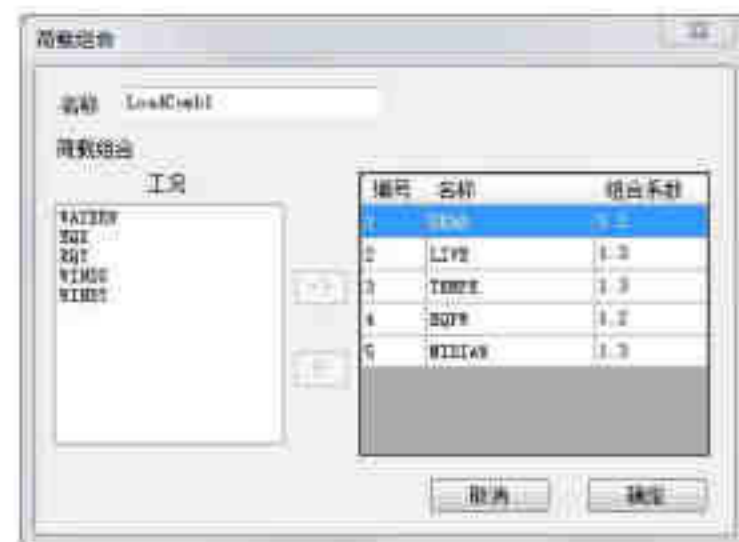
设备自重、结构自重、保温重、平台均布  
活荷载、试压时设备充水水重、风荷载

地震  
作用

设备自重、结构自重、介质重、保温重、  
平台均布活荷载、设备荷载、温度荷载、  
地震作用



名称	描述	状态
LoadComb1	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb2	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb3	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb4	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb5	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb6	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb7	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb8	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb9	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb10	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb11	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb12	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb13	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb14	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb15	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb16	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb17	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb18	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb19	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常
LoadComb20	设备自重、结构自重、保温重、平台均布活荷载、风荷载	正常



编号	名称	组合系数
1	LIVE	1.2
2	TEMP	1.2
3	SUPR	1.2
4	WIND	1.2



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		DEAD	MODAL	LIVE	TEMPE	EQPW	MIDIAW	WATERW	EQX	EQY	WINDX	WINDY
2	LoadComb1	1.2		1.4	1.4	1.2	1.2					
3	LoadComb2	1.35		0.98	1.4	1.35	1.35					
4	LoadComb3	1.2		1.4	1.4	1.2	1.2				0.84	
5	LoadComb4	1.2		1.4	1.4	1.2	1.2				-0.84	
6	LoadComb5	1.2		1.4	1.4	1.2	1.2					0.84
7	LoadComb6	1.2		1.4	1.4	1.2	1.2					-0.84



# 结构风荷载

## 开敞结构风荷载计算

框架上的风荷载应包括梁、柱、斜撑、栏杆和设备产生的风荷载。  
计算风荷载时应考虑前后棍框架间、前后设备间的遮挡。(SH/T 3077-2011 6.4.1)

表 B.0.1-1 构架的整体体型系数  $\mu_{sc}$  ( $S/B=0.1$ )

$\beta$	$N=2$	$N=3$	$N=4$	$N=5$	$N=6$	$N=7$	$N=8$	$N=9$	$N=10$	$N=11$	$N=12$
0.10	2.52	3.41	4.14	4.88	5.44	6.01	6.50	6.99	7.39	7.72	8.04
0.15	2.38	3.09	3.63	4.23	4.68	5.04	5.38	5.74	6.01	6.23	6.53
0.20	2.29	2.88	3.33	3.78	4.14	4.43	4.71	5.04	5.28	5.53	5.77
0.25	2.11	2.67	3.06	3.45	3.77	4.06	4.32	4.58	4.81	5.01	5.23
0.30	1.95	2.44	2.79	3.11	3.39	3.63	3.85	4.09	4.28	4.50	4.71
0.35	1.83	2.25	2.55	2.83	3.09	3.30	3.48	3.69	3.88	4.09	4.29
0.40	1.75	2.11	2.38	2.62	2.88	3.05	3.21	3.38	3.58	3.78	3.98
0.50	1.63	1.92	2.13	2.32	2.55	2.70	2.83	2.97	3.15	3.35	3.54

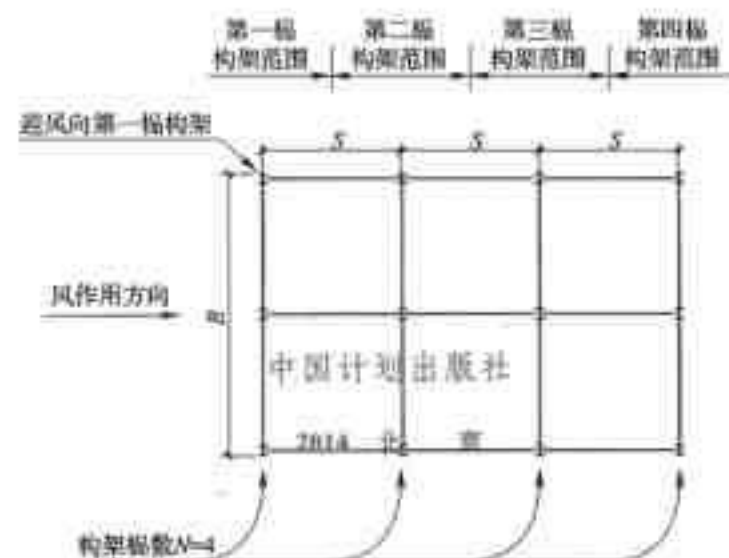
中华人民共和国国家标准

石油化工建(构)筑物结构荷载规范

Load code for design of buildings and special structures in petrochemical industry

GB 51006-2014

主编部门:中国石化集团公司  
批准部门:中华人民共和国住房和城乡建设部  
施行日期:2015年4月1日





# 结构风荷载

## 迎风面风荷载体形系数

标高 (m)	柱	梁	平面内支撑	顺风向支撑	栏杆	梯子	小计
4.000	3.040	2.123	1.837	0.000	0.000	0.000	7.000
5.000	0.800	0.000	1.717	0.000	0.000	0.000	2.517
7.200	1.760	11.475	1.717	0.000	0.000	0.000	14.952
12.000	3.840	16.531	2.050	0.000	0.000	0.000	22.431
16.200	3.360	0.000	2.108	0.000	0.000	0.000	5.468
17.000	0.640	13.038	2.108	0.000	0.000	0.000	15.786
20.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
23.250	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
合计							68.153

X方向总挡风面积: 391.686m<sup>2</sup>

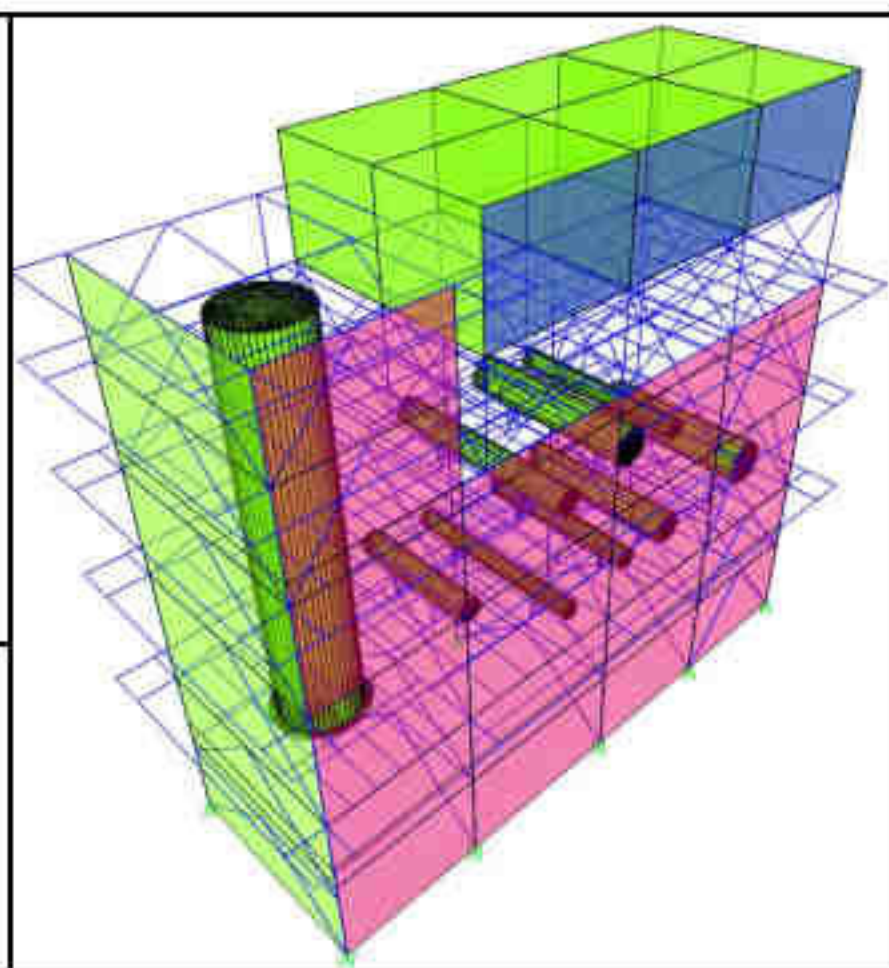
0.00m处榀框架挡风面积最大: 116.148m<sup>2</sup>

N = 5, S = 6.000m, B = 8.700m, S/B = 0.690

$$\text{挡风系数 } \phi = \frac{116.148}{8.700 \times 24.250} = 0.551$$

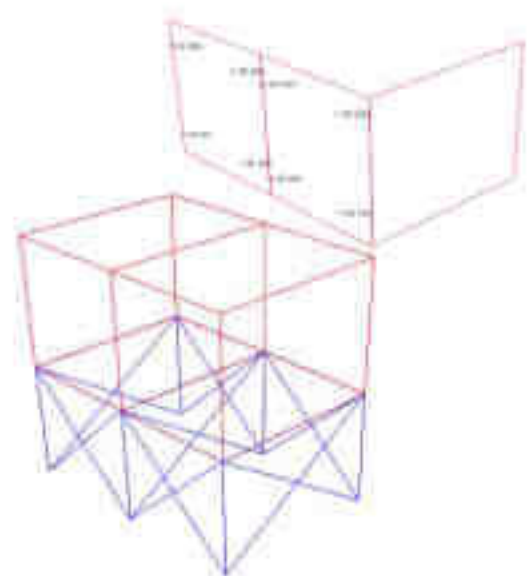
当构架的榀数、挡风系数、S/B比值超过规范限值时，按照边界值查表计算

查《GB 51006-2014》附录B表B.0.1得到X方向构架整体体型系数  $\mu_{sw} = 1.844$



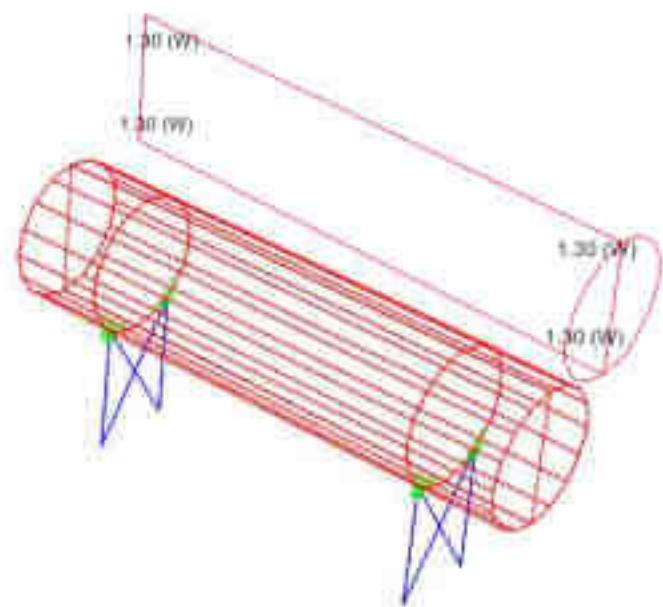
# 设备风荷载

## 设备风荷载



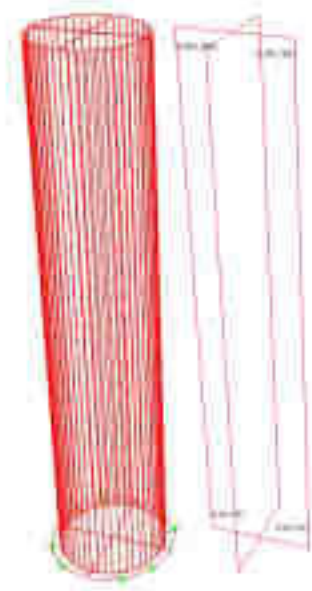
空冷设备

按方向确定迎风面，风荷载体型系数指定到对应的迎风面



卧式设备

设置虚面，风荷载体型系数指定到对应的迎风面



立式设备

设置虚面，风荷载体型系数按方向指定到对应虚面



# 设备风荷载

## 设备风荷载

7.4.5 计算设备风荷载时应考虑相邻设备的放大或遮挡影响。

2 当平台采用封闭楼板时,该层构架的结构风荷载宜乘以折减系数,折减系数宜按下式计算:

$$\eta_i = 1 - 0.2(A_i/A_s) \quad (7.4.13)$$

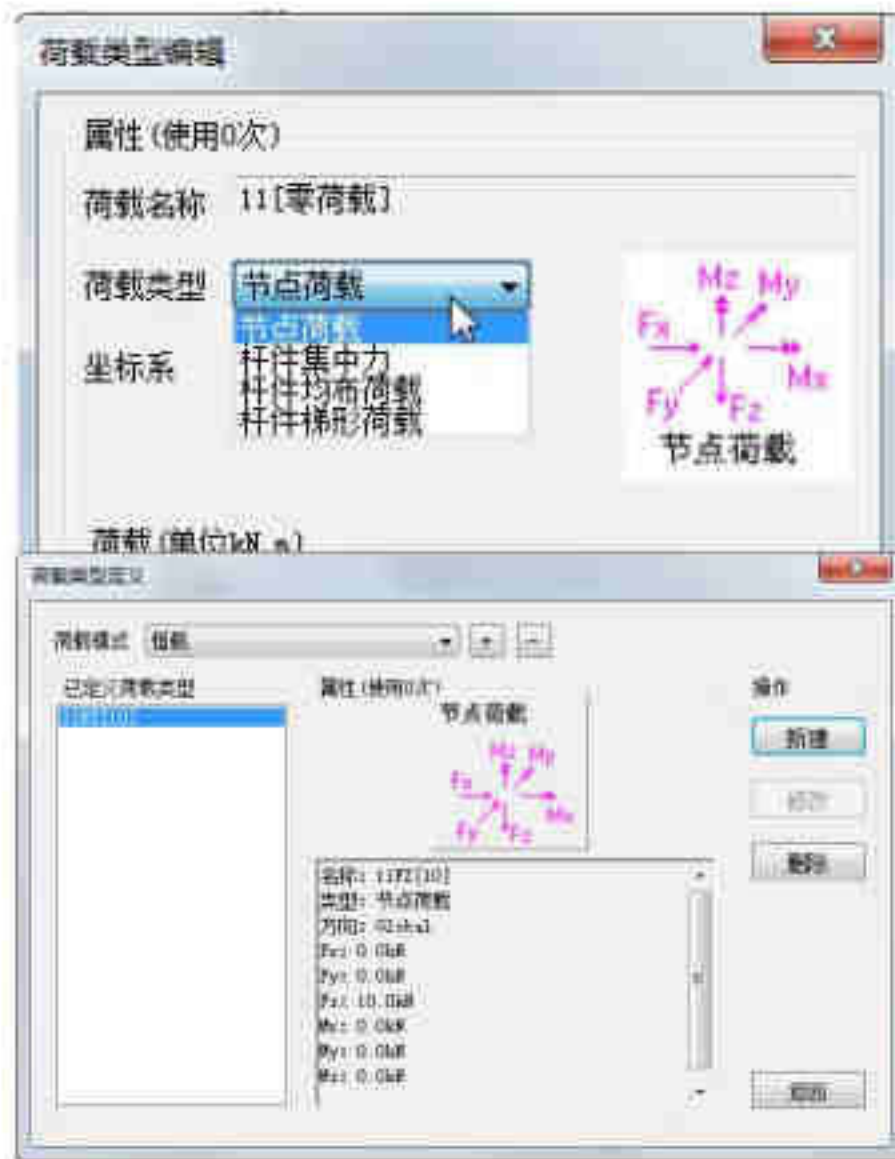
风载系数	
X向风载体型系数:	1.3
Y向风载体型系数:	0.7

工作面	间隔(m)	标高(m)	加强层	嵌固层	分段	封闭楼板
Story7	3.25	23.25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Story6	3.0	20.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Story5	0.8	17.0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# 荷载

## 荷载指定

- 荷载集中定义批量指定
- 支持节点、杆件、面荷载布置
- 荷载图示显示荷载大小





# 设计参数指定

## 按类型指定杆件的设计参数

杆件设计项

柱

计算长度系数 指定计算长度系数

位移限值  $0/l$  250

受拉长细比限值 300

受压长细比限值 60

异轴限值

框梁 (1/) 400

梁 (1/) 200

平台次梁 (2/) 250

设备梁 (1/) 350

支撑

受压长细比 受拉长细比

水平支撑 120 180

竖向支撑 120 180

计算长度系数

平面内 平面外

交叉支撑 0.5 1

其他支撑

隔层 1 1

其他层 0.8 1

设备梁按受压构件设计

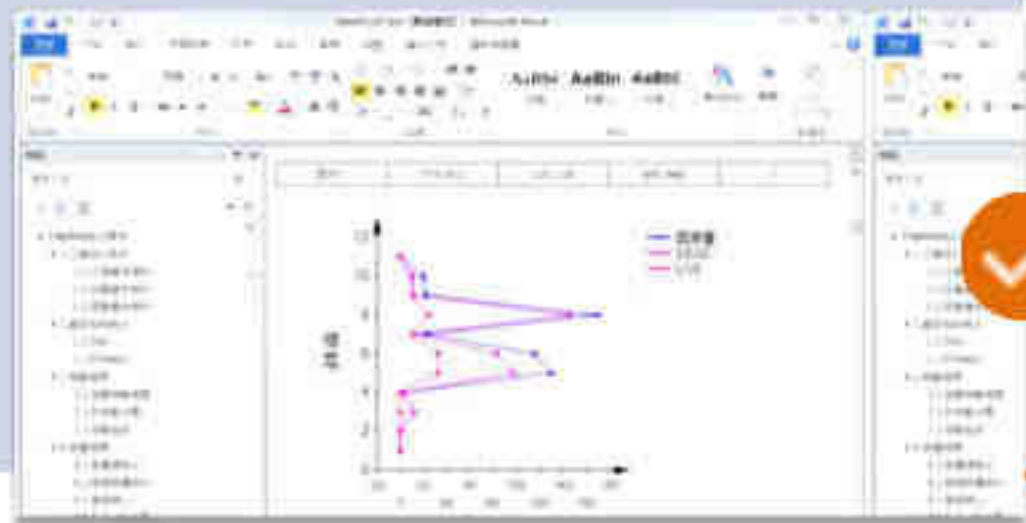
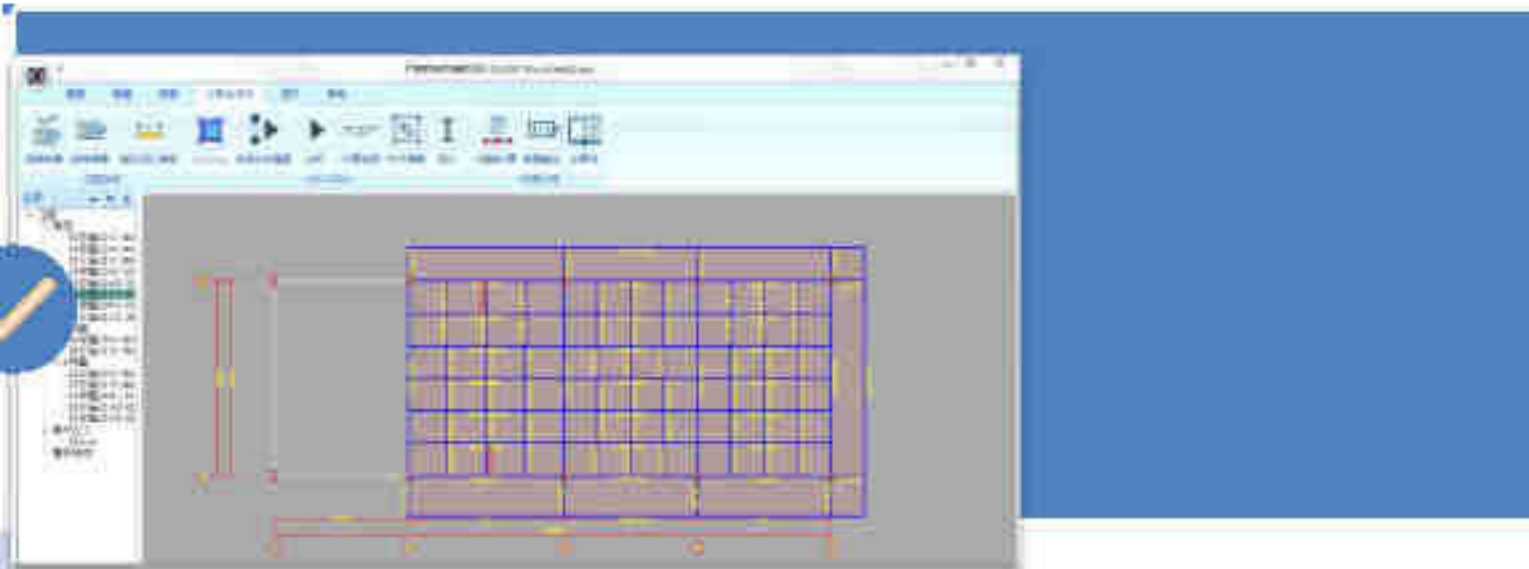
确定 取消

选项	参数值
21 恒载限值 $sbs$	Program Determined
22 (附加恒载+活载)限值 $sbs$	Program Determined
23 活载限值 $sbs$	Program Determined
24 总限值 $sbs$	Program Determined
25 净跨度限值 $sbs$	Program Determined
26 指定区拱值	Program Determined
27 净/毛面积比	Program Determined
28 活荷载折减系数	Program Determined
29 无支撑长度系数 $\mu$ (主)	Program Determined
30 无支撑长度系数 $\mu$ (次)	Program Determined
31 有效长度系数 $\mu$ (主)	0.8
32 有效长度系数 $\mu$ (次)	1
33 柔性支撑系数 $\nu$ (主)	Program Determined
34 柔性支撑系数 $\nu$ (次)	Program Determined
35 截面影响系数 $\alpha$	Program Determined
36 强柱系数 $\eta$	Program Determined
37 受压长细比限值 $slr$	120
38 受拉长细比限值 $slr$	180
39 屈曲限值 $lv$	Program Determined
40 抗剪强度设计值 $f$	Program Determined
41 抗弯强度设计值 $f_v$	Program Determined
42 考虑侧移力?	No
43 应力比限值	Program Determined

# 结果输出

## 视图输出

- 梁挠度计算
- 地震力调整

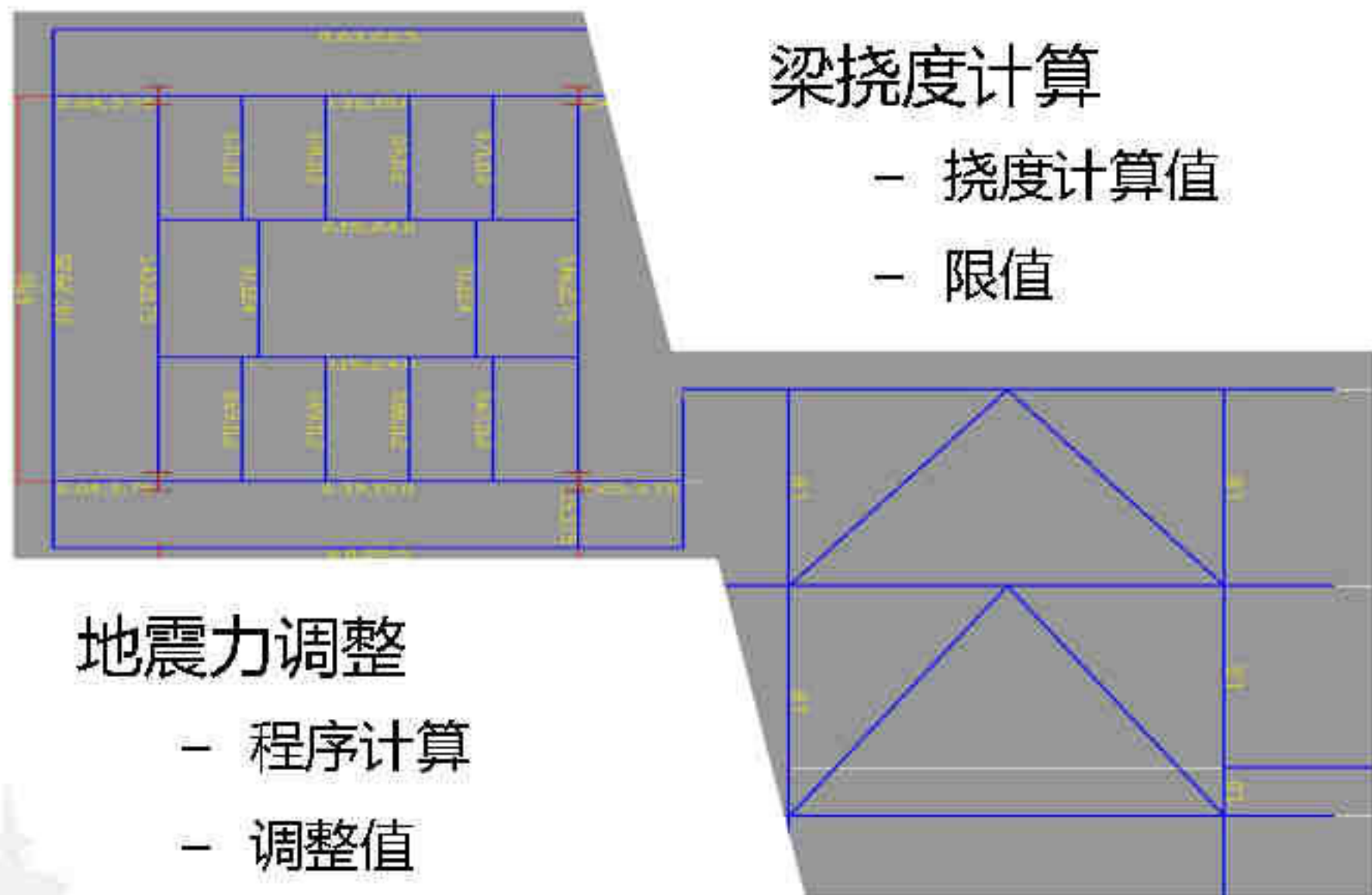


## 文件输出

- 计算书输出
- 简图输出

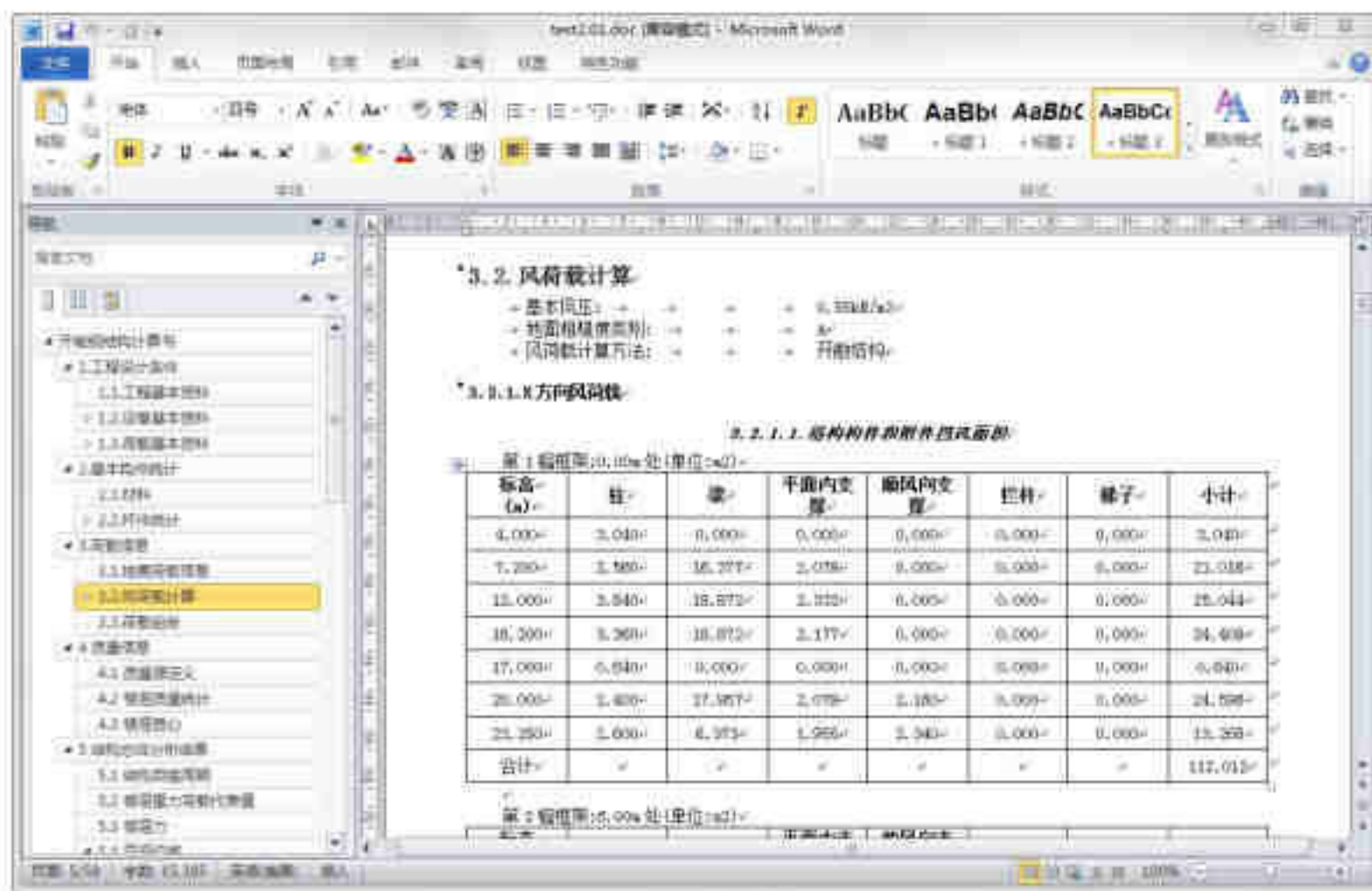


# 视图输出



# 文件输出

## Word计算书





# 文件输出

## Word计算书

### 数据整理

1. 工程设计条件
1.1. 工程基本资料
1.2. 设备基本资料
1.3. 荷载基本资料
2. 基本构件统计
2.1. 材料
2.2. 杆件统计
3. 荷载信息
3.1. 地震荷载信息
3.2. 风荷载计算
3.3. 荷载组合
4. 质量信息
4.1. 质量源定义
4.2. 楼层质量统计
4.3. 楼层重心

### 数据加工

5. 结构总体分析结果
5.1. 结构自振周期
5.2. 楼层重力荷载代表值
5.3. 楼层力
5.4. 层间位移
5.4.1. 地震工况层间位移
5.4.2. 风工况层间位移
5.5. 柱顶位移
5.5.1. 地震工况柱顶位移
5.5.2. 风工况柱顶位移
5.6. 基底反力
5.7. 剪力调整
6. 杆件分析(设计)结果
6.1. 柱计算结果
6.1.1. 应力比
6.1.2. 控制内力
6.2. 梁计算结果
6.2.1. 应力比
6.2.2. 控制内力
6.3. 支撑计算结果
6.3.1. 应力比
6.3.2. 控制内力

### 补充计算

7. 节点域验算
7.1. 节点 X1-Y1-h23,250
7.2. 节点 X2-Y1-h23,250
7.3. 节点 X1-Y2-h23,250
7.4. 节点 X2-Y2-h23,250
7.5. 节点 X3-Y1-h12,000
7.6. 节点 X3-Y1-h17,000
7.7. 节点 X4-Y1-h17,000
7.8. 节点 X3-Y2-h12,000
7.9. 节点 X3-Y2-h17,000
7.10. 节点 X4-Y2-h17,000
8. 柱脚设计
8.1. 柱脚编号范围
8.2. 柱脚设计过程
8.2.1. 柱支座SUPT-1
1. 柱底内力
2. 地脚螺栓计算
3. 底板厚度的确定
4. 靴梁计算
5. 靴梁焊接计算
6. 抗剪计算
7. 基础顶面压力
8. 柱脚埋深承载力验算
8.3. 柱脚材料表

## 节点域验算

### — GB50011 8.2.5

#### 7.2 节点 X1-Y1-N7.200

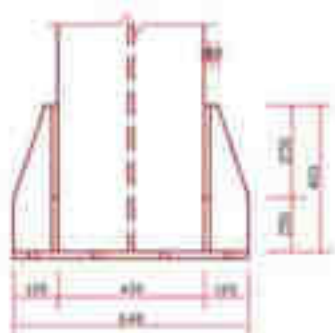
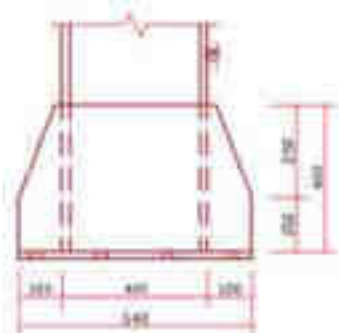
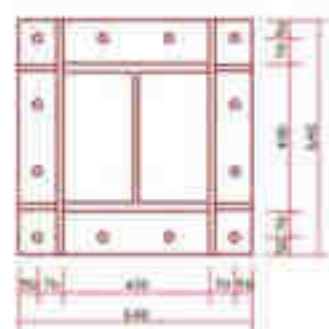
下柱: Column#3 (HW400x400x13x21) 上柱: Column#4 (HW400x400x13x21)  
梁 1: Beam# (HN450x200x9x14) 梁 2: Beam335 (C16a)

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-1) 荷载组合: LoadComb18 轴力  $N = 442413.91 \text{ N}$   
节点有支撑, 不需要验算 GB-50011-2010 (8.2.5-1)

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-3)  
两侧梁不等高

$\phi = (M_{pb1}/b_1 + M_{pb2}/b_2) / h_c / t_w = 0.70 (381049915.00/436.00 + 30621675.00/150.00) / 368.00 / 13.00 = 162.16$

$(4/3)F_{yR} = (4/3)130.50 = 174.00$   
满足 GB-50011-2010 (8.2.5-3)



详细设计过程:

#### 1. 柱底内力

选取最不利的一组内力

计算地脚螺栓时, 取柱 Column1 的最不利内力组合 LoadComb18:

$N = -579.84 \text{ kN}, M_x = -20.43 \text{ kN}\cdot\text{m}, M_y = 0.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$

计算底板厚度时, 取柱 Column1 的最不利内力组合 LoadComb6:

$N = -788.87 \text{ kN}, M_x = -36.93 \text{ kN}\cdot\text{m}, M_y = 0.93 \text{ kN}\cdot\text{m}$

#### 2. 地脚螺栓计算

计算地脚螺栓采用 Column1 柱 LoadComb18 组合

地脚螺栓的材质为 Q235 钢, 长方向螺栓数为 4, 宽方向螺栓数为 4, 螺栓总数为 12

柱底压力偏心系数  $e = \frac{M_x}{N} = \frac{6 \times 20.43}{579.84 \times 640} = 0.00$

$e \leq 1.2$ , 地脚螺栓按构造要求配置, 取直径为 24mm

## 柱脚计算

- 柱脚详图
- 柱脚设计过程
- 柱脚材料表





## PART 03

# 技术路线



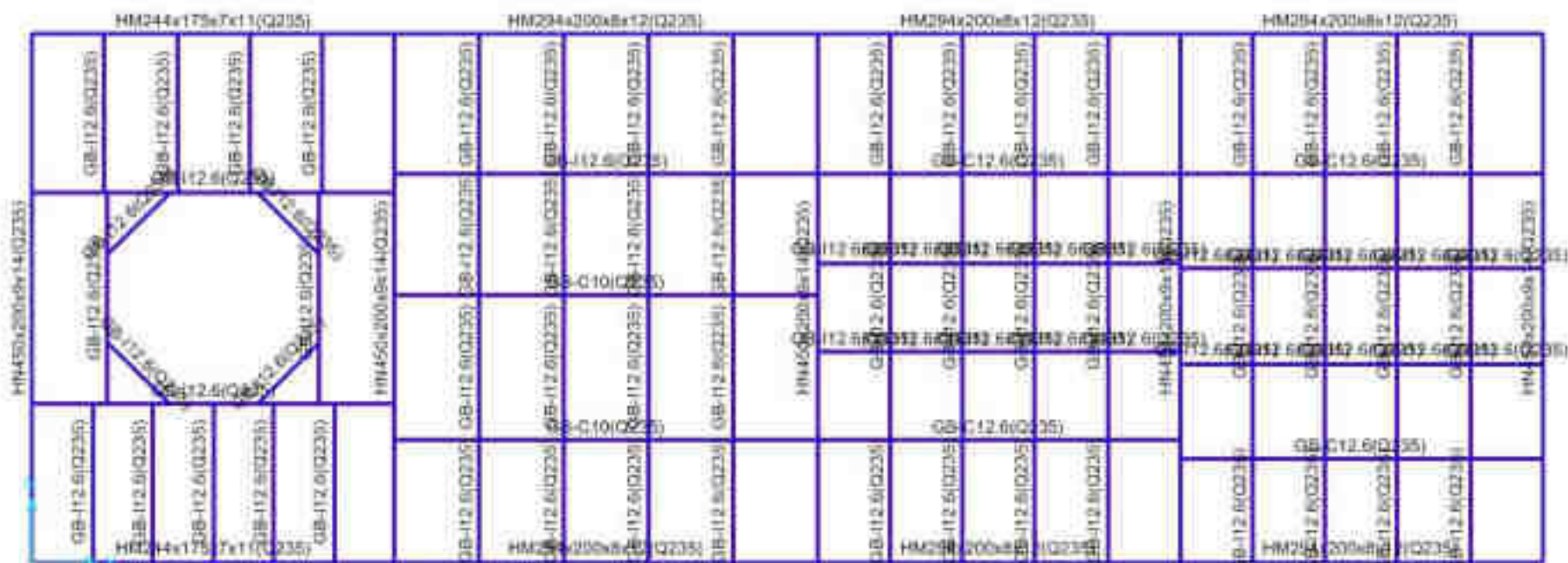
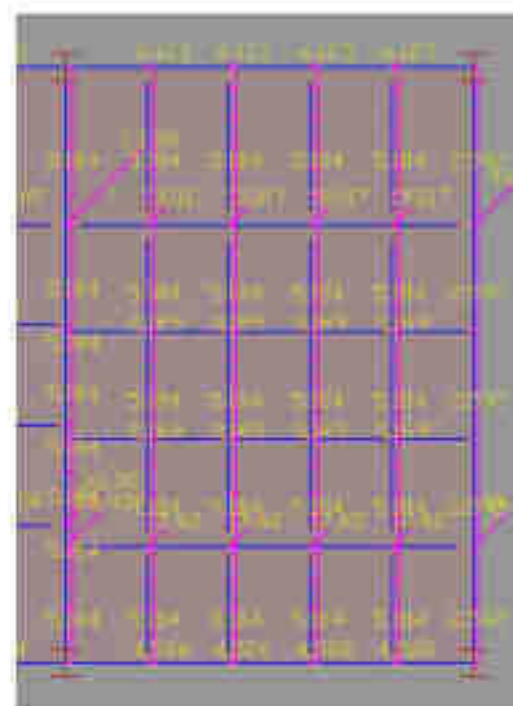
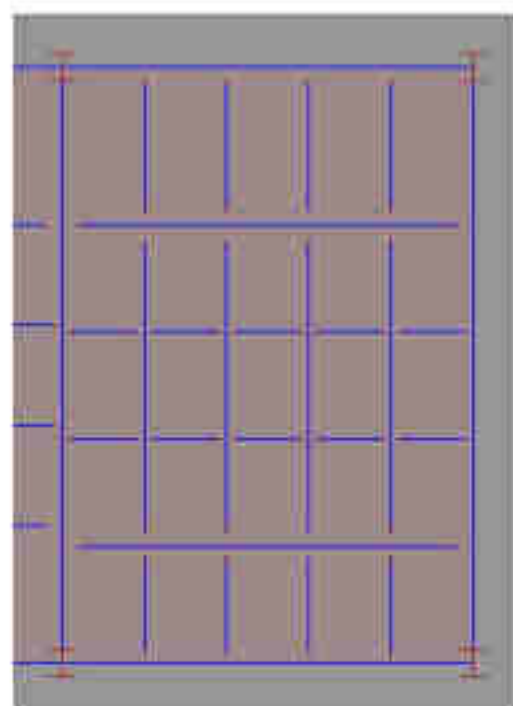
# 平台梁选梁

## 计算方法

- 按照简支梁计算
- 导荷（杆件的主次关系）
- 杆件内力
- 选择截面（截面库）

$$\frac{M}{W} \leq af$$

$$y \leq \gamma$$



平台梁、次梁选截面参数

应力折减系数 0.8

平台梁挠度控制值 0.004

选梁截面库



# 楼板建模处理

## 楼板特点

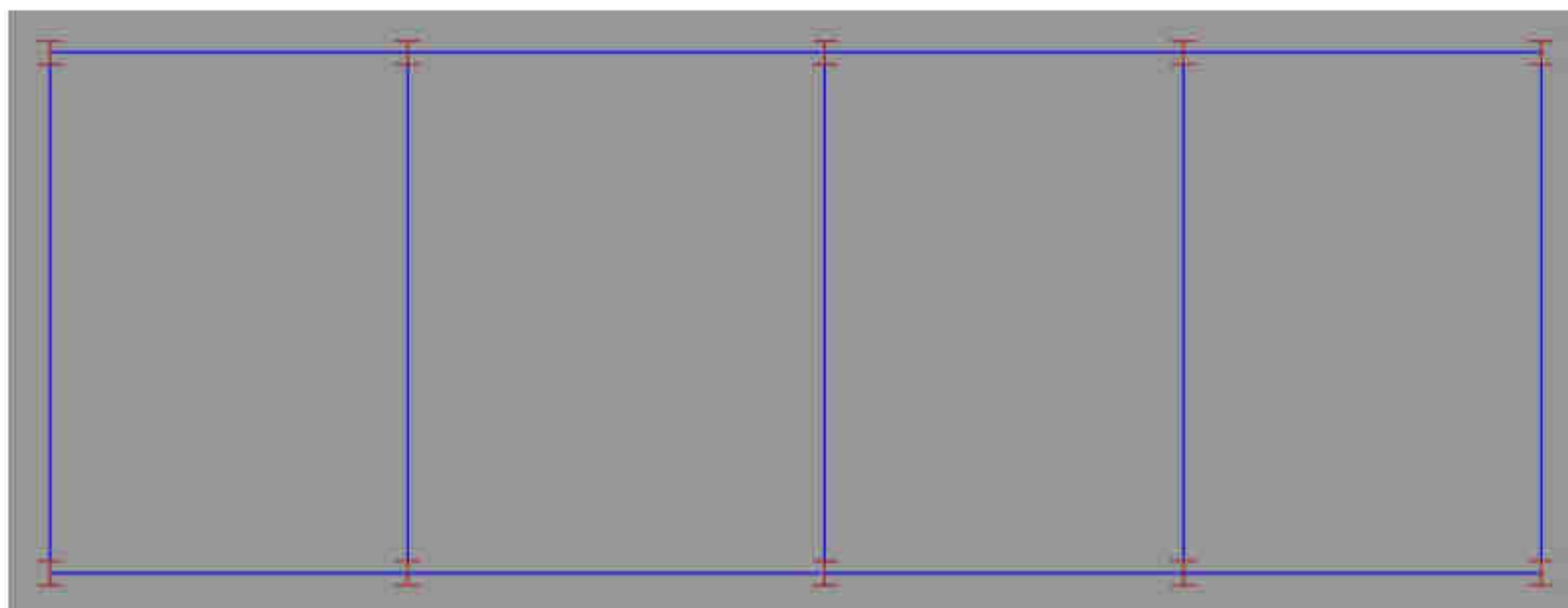
- 数量多
- 刚度小

## 布置规则

- 判别可围成板区域
- 框架梁不生成

## 荷载布置

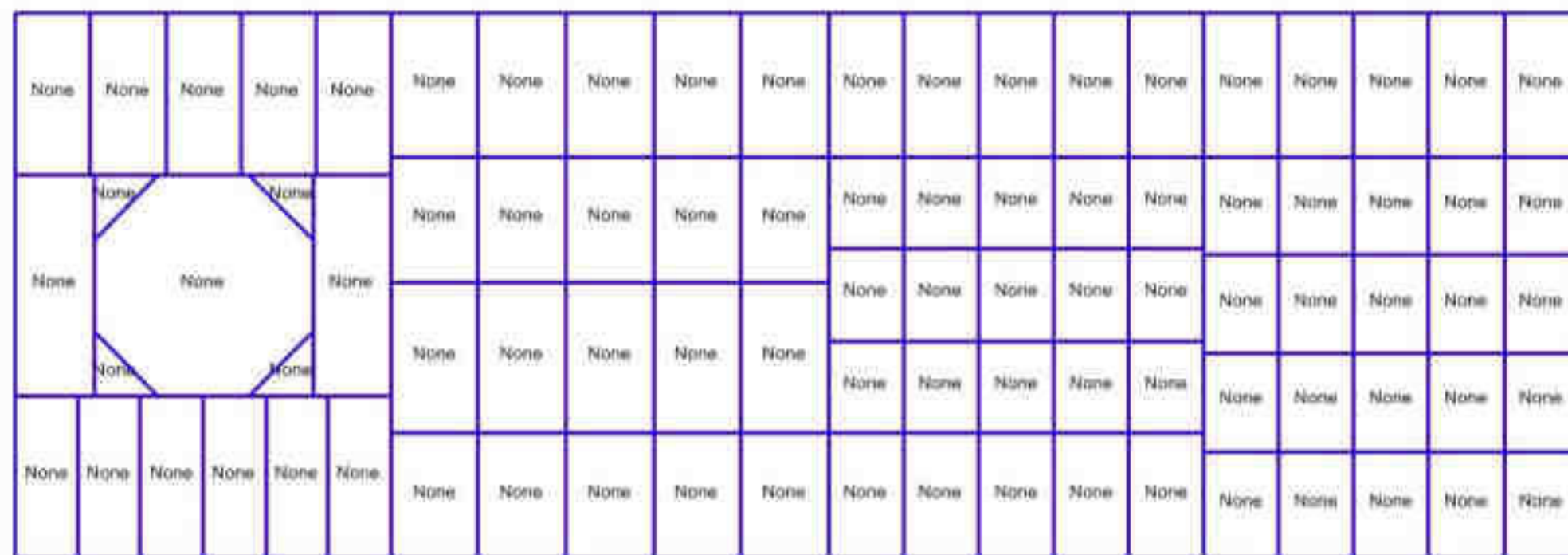
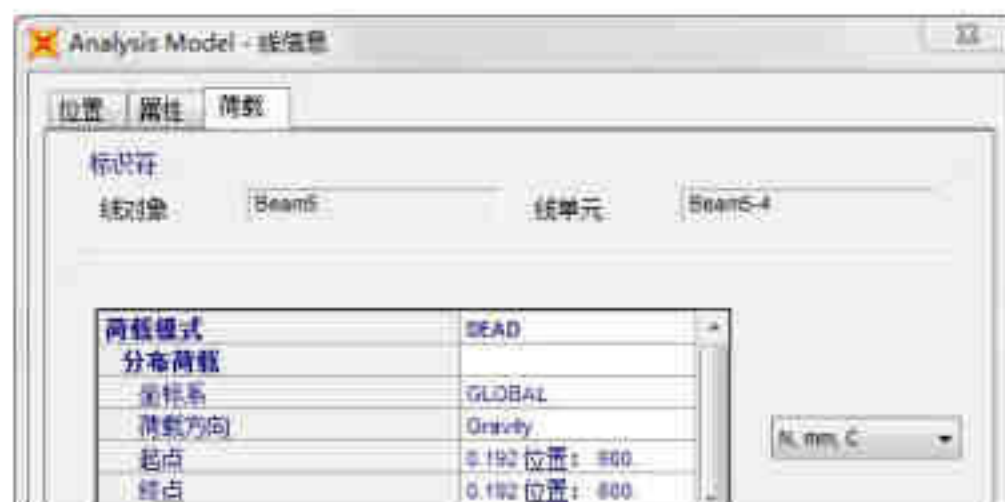
- 荷载直接指定
- 可修改
- 单向板导荷
- 导荷方向可调整



# 楼板建模处理

## SAP2000有限元模型

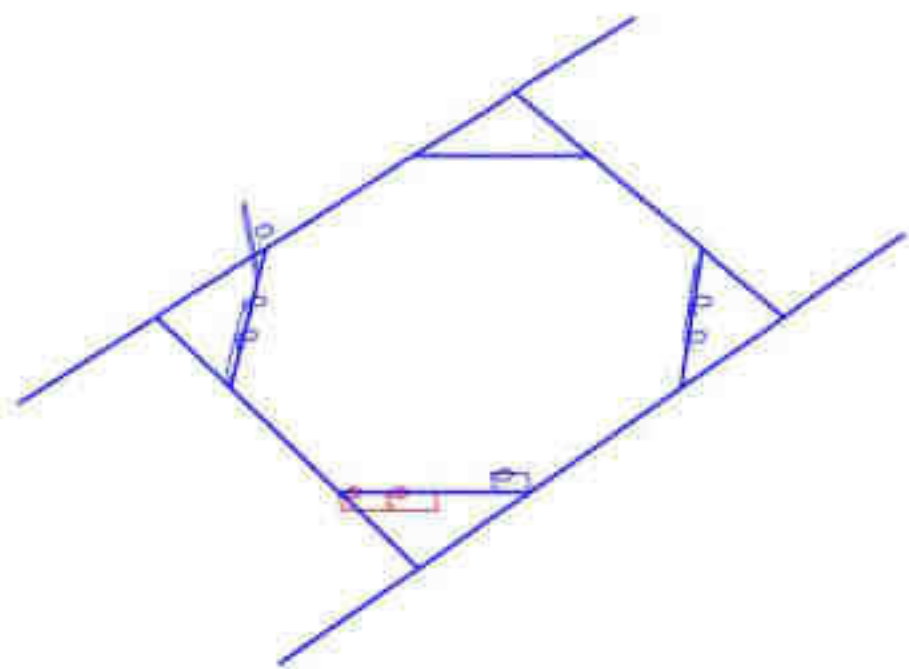
- 单元模拟 **虚面**
- 加载方式 **导荷到框架**



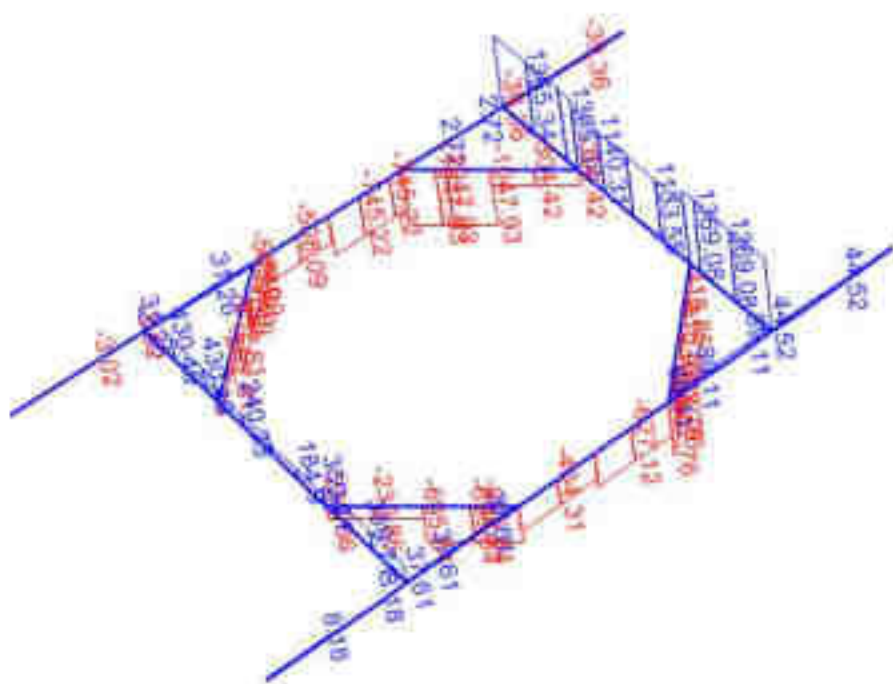


# 楼板处理对比

楼板刚性



楼板非刚性



设备梁轴力结果对比

# 设备建模

## 设备模拟

- 设备-壳
- 支座-位置判断与连接单元

### 单元形状指导

节点位置的选择应满足下列几何条件：

- 在每一节点的内角应小于 $180^\circ$ ，当这些角接近 $90^\circ$ 时，或至少在 $45^\circ$ 到 $115^\circ$ 范围内，四边形可获得最佳结果。
- 一个单元的特征系数不应太大，对于三角形，这是最长边与最短边的比值；对于四边形，这是对边中点连线的较长距离与较短距离的比值。对于特征系数为1，将得到最佳结果，或至少小于4，特征系数不得超过10。
- 对于四边形，四个节点不必在同一平面内，软件可以考虑在单元内的少量扭转，在节点连线间的角度可用来衡量扭转程度，在节点连线垂直于交于此点的两边，如在任意两个节点连线的交角小于 $30^\circ$ ，将得到最佳结果，此角度不得超过 $45^\circ$ 。

在充分细分网格内，这些条件一般能够得到满足，当特征系数较大和网格相当小时，厚板公式的精度比薄板公式的更为敏感。

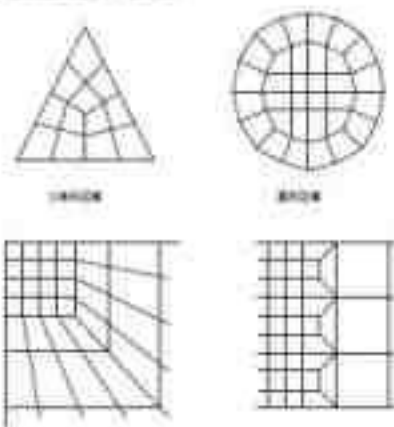


图41 使用四边形单元比划分的例题



几何模型



分析模型



# 设备建模

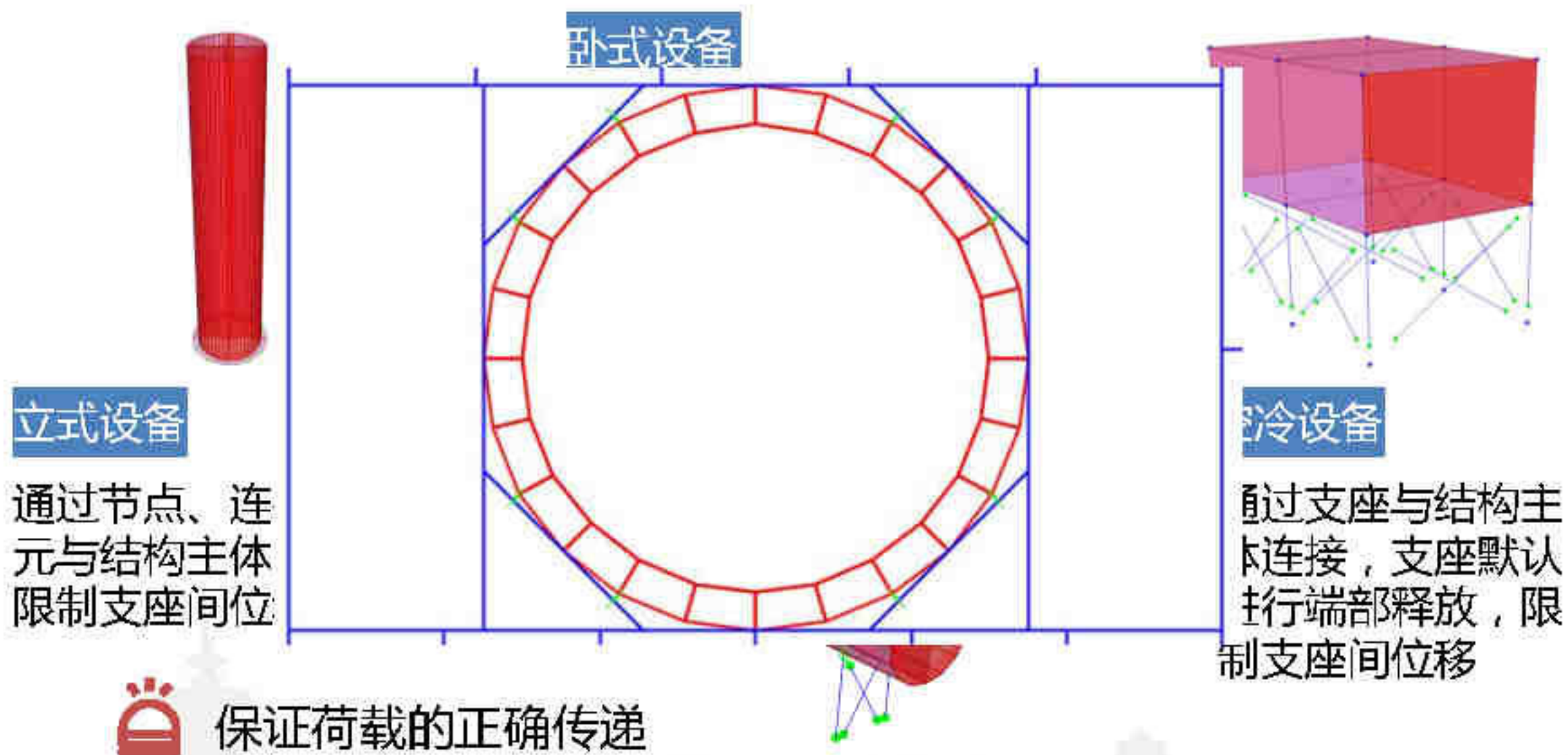
## 不同剖分尺寸的影响

0      2m      1.5m      1m      0.5m

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	tepNum Unitless	Period Sec	StepNum Unitless	Period Sec	tepNum Unitless	Period Sec	StepNum Unitless	Period Sec
MODAL	Mode	1	2.291509	1	1.85512	1	1.831981	1	1.788795	1	1.736162
MODAL	Mode	2	2.228914	2	1.803749	2	1.781811	2	1.740964	2	1.691099
MODAL	Mode	3	0.764863	3	0.764291	3	0.763944	3	0.763968	3	0.763938
MODAL	Mode	4	0.608034	4	0.601357	4	0.601787	4	0.601531	4	0.600853
MODAL	Mode	5	0.458719	5	0.456774	5	0.456657	5	0.456644	5	0.456588
MODAL	Mode	6	0.456504	6	0.455323	6	0.455838	6	0.455744	6	0.453847
MODAL	Mode	7	0.426946	7	0.426948	7	0.426941	7	0.426941	7	0.426942
MODAL	Mode	8	0.421175	8	0.420292	8	0.419579	8	0.420046	8	0.418343
MODAL	Mode	9	0.401563	9	0.406916	9	0.415257	9	0.401287	9	0.401284
MODAL	Mode	10	0.401013	10	0.402496	10	0.401276	10	0.386593	10	0.381766
MODAL	Mode	11	0.36343	11	0.401328	11	0.396647	11	0.380821	11	0.378629
MODAL	Mode	12	0.359153	12	0.369056	12	0.363387	12	0.364251	12	0.36315
MODAL	Mode	13	0.343485	13	0.366343	13	0.362394	13	0.359274	13	0.359154
MODAL	Mode	14	0.325323	14	0.359672	14	0.359638	14	0.35416	14	0.349712

# 设备建模

## 支座处理





# 设备建模

## 荷载模拟

- 重力乘数

## 荷载计算

壁厚计算重量  $G_t = f(t)$

设备自重  $G = G_t + k_t G_t$   $k_t = (G - G_t) / G_t$

充水重量  $L_w = k_w G_t$   $k_w = L_w / G_t$

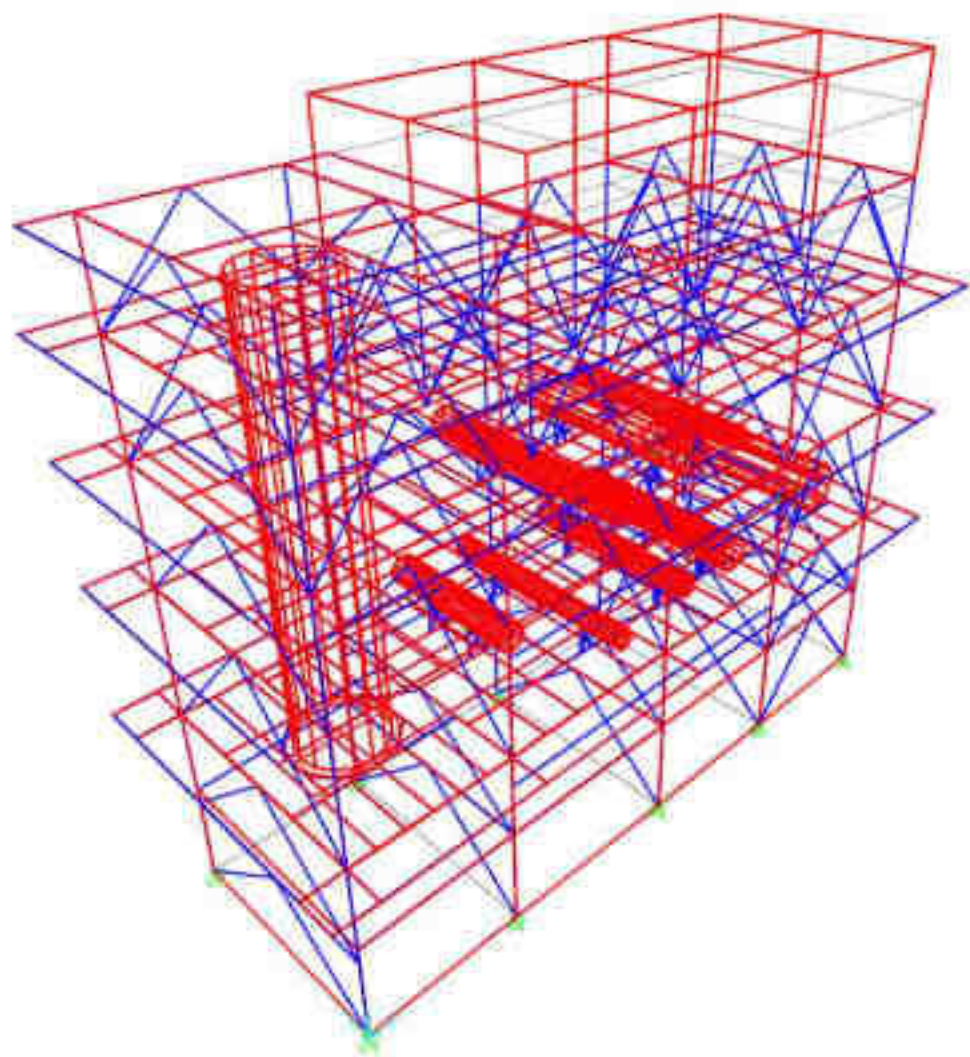
介质重量  $L_m = k_m G_t$   $k_m = L_m / G_t$

荷载模式		DEAD
重力荷载		
坐标系	$k_t$	GLOBAL
UZ		-1.937
荷载模式		MIDIAW
重力荷载		
坐标系	$k_m$	GLOBAL
UZ		-0.7501
荷载模式		WATERW
重力荷载		
坐标系	$k_w$	GLOBAL
UZ		-0.9876

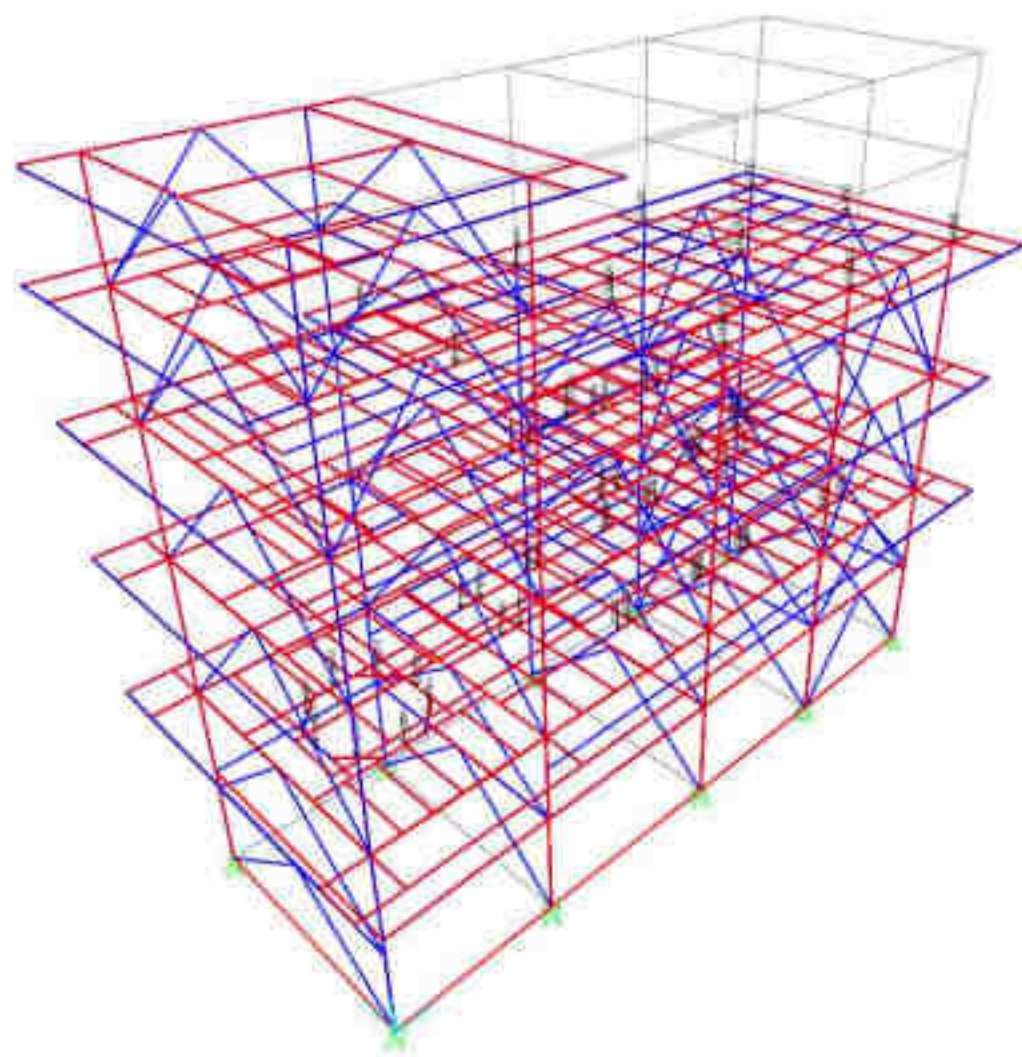


# 设备模拟对比

设备整体建模



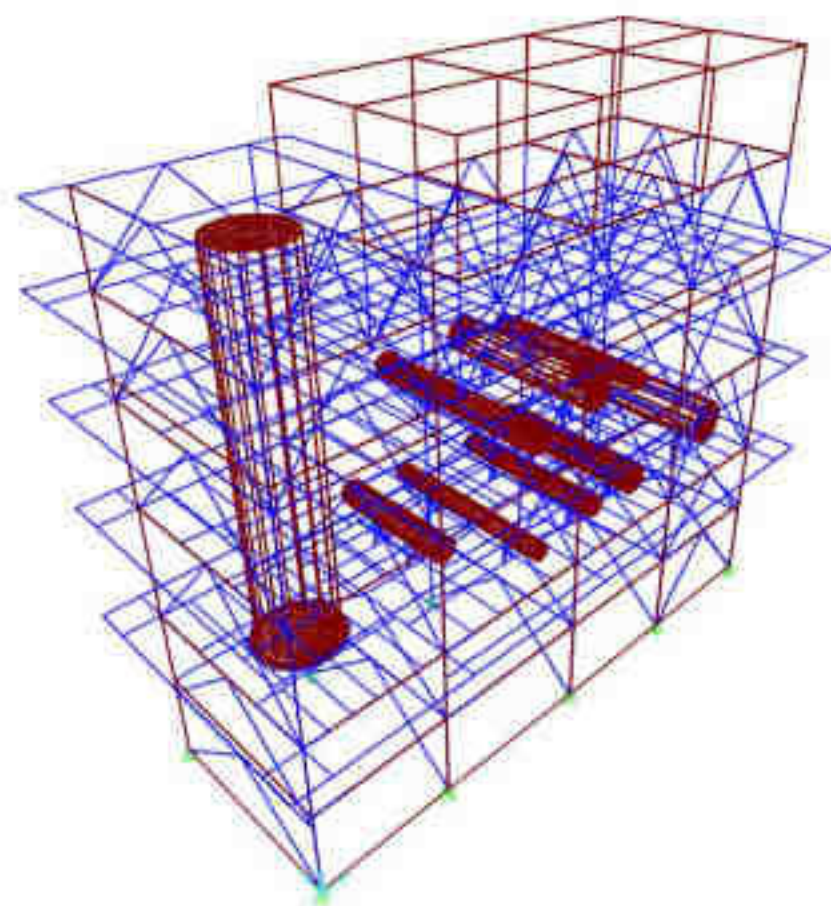
荷载模拟设备



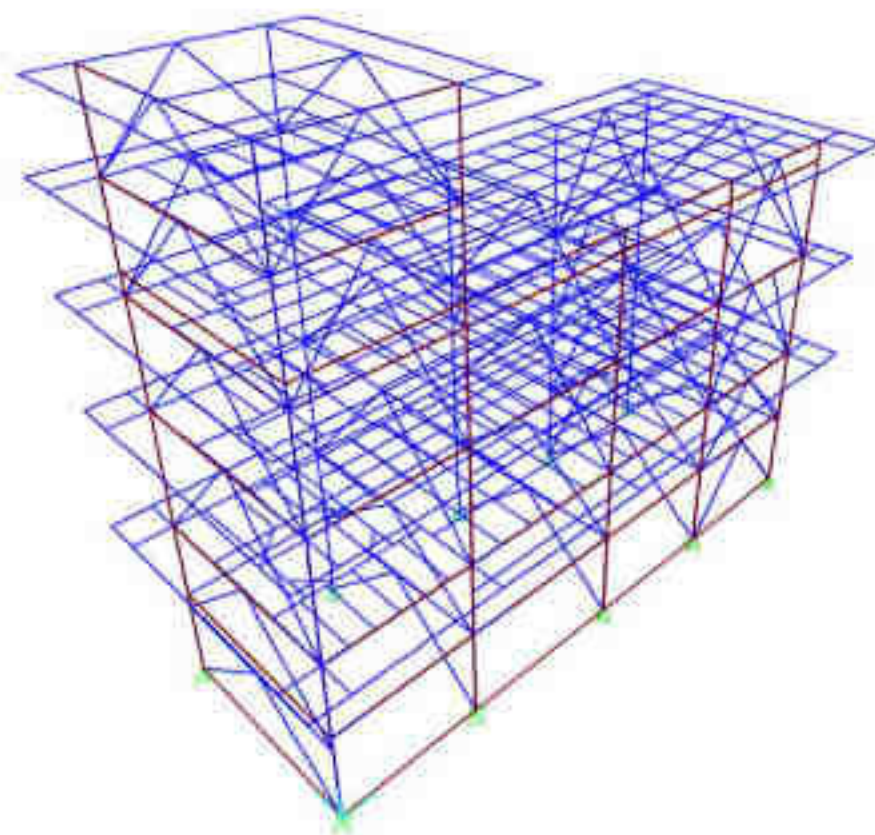


# 设备模拟对比

设备整体建模



荷载模拟设备



# 设备模拟对比

## 设备整体建模

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec
MODAL	Mode	1	1.826751
MODAL	Mode	2	1.795917
MODAL	Mode	3	1.144613
MODAL	Mode	4	0.644202
MODAL	Mode	5	0.631353
MODAL	Mode	6	0.610613
MODAL	Mode	7	0.595705
MODAL	Mode	8	0.572284
MODAL	Mode	9	0.571449
MODAL	Mode	10	0.55752
MODAL	Mode	11	0.558746
MODAL	Mode	12	0.558496
MODAL	Mode	13	0.542488
MODAL	Mode	14	0.529331

## 荷载模拟设备

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec
MODAL	Mode	1	1.355688
MODAL	Mode	2	0.827057
MODAL	Mode	3	0.704441
MODAL	Mode	4	0.657636
MODAL	Mode	5	0.639516
MODAL	Mode	6	0.614546
MODAL	Mode	7	0.604963
MODAL	Mode	8	0.573605
MODAL	Mode	9	0.561807
MODAL	Mode	10	0.560845
MODAL	Mode	11	0.560258
MODAL	Mode	12	0.530283
MODAL	Mode	13	0.526527
MODAL	Mode	14	0.526141



# 设备模拟对比

## 设备整体建模

Joint Text	Mass Source	U1 N-s2/mm	U2 N-s2/mm	U3 N-s2/mm
~4949	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~4950	MSSSRC1	0.051	0.051	0.051
~4951	MSSSRC1	0.076	0.076	0.076
~4952	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~4953	MSSSRC1	0.051	0.051	0.051
~4954	MSSSRC1	0.076	0.076	0.076
~4955	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~4956	MSSSRC1	0.051	0.051	0.051
~4957	MSSSRC1	0.076	0.076	0.076
~4958	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
SumAccelUX	MSSSRC1	522.693	0	0
SumAccelUY	MSSSRC1	0	522.693	0
SumAccelUZ	MSSSRC1	0	0	522.693

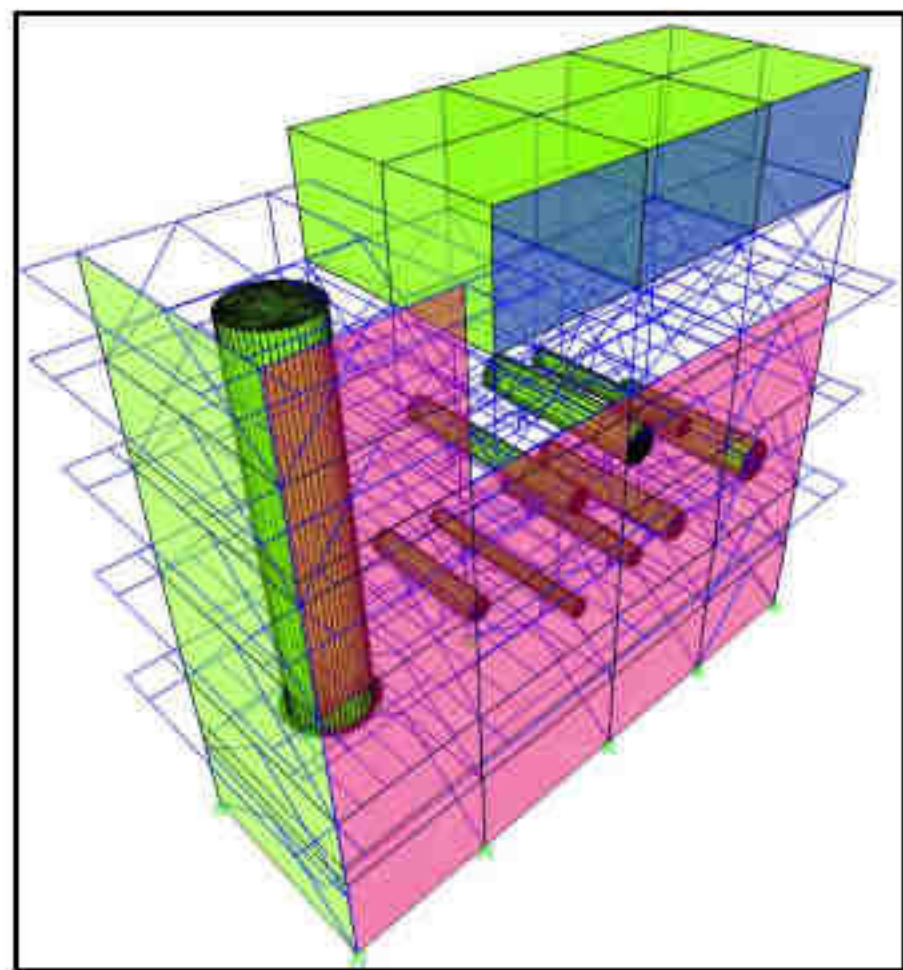
## 荷载模拟设备

Joint Text	Mass Source	U1 N-s2/mm	U2 N-s2/mm	U3 N-s2/mm
~1183	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~1184	MSSSRC1	0.052	0.052	0.052
~1185	MSSSRC1	0.077	0.077	0.077
~1186	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~1187	MSSSRC1	0.052	0.052	0.052
~1188	MSSSRC1	0.077	0.077	0.077
~1189	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
~1190	MSSSRC1	0.052	0.052	0.052
~1191	MSSSRC1	0.077	0.077	0.077
~1192	MSSSRC1	0.049	0.049	0.049
SumAccelUX	MSSSRC1	518	0	0
SumAccelUY	MSSSRC1	0	518	0
SumAccelUZ	MSSSRC1	0	0	518

# 风荷载计算

## 计算过程：

- 1 计算各构件的挡风面积。
- 2 根据结构的宽度、樑数、樑间距、挡风系数等参数查表得到体型系数。
- 3 生成模型时，在迎风面建立虚面，并指定计算得到的风压系数。
- 4 风荷载的其他系数在工程信息中指定，并定义到风荷载工况。





# 风荷载计算

## 构件的遮挡

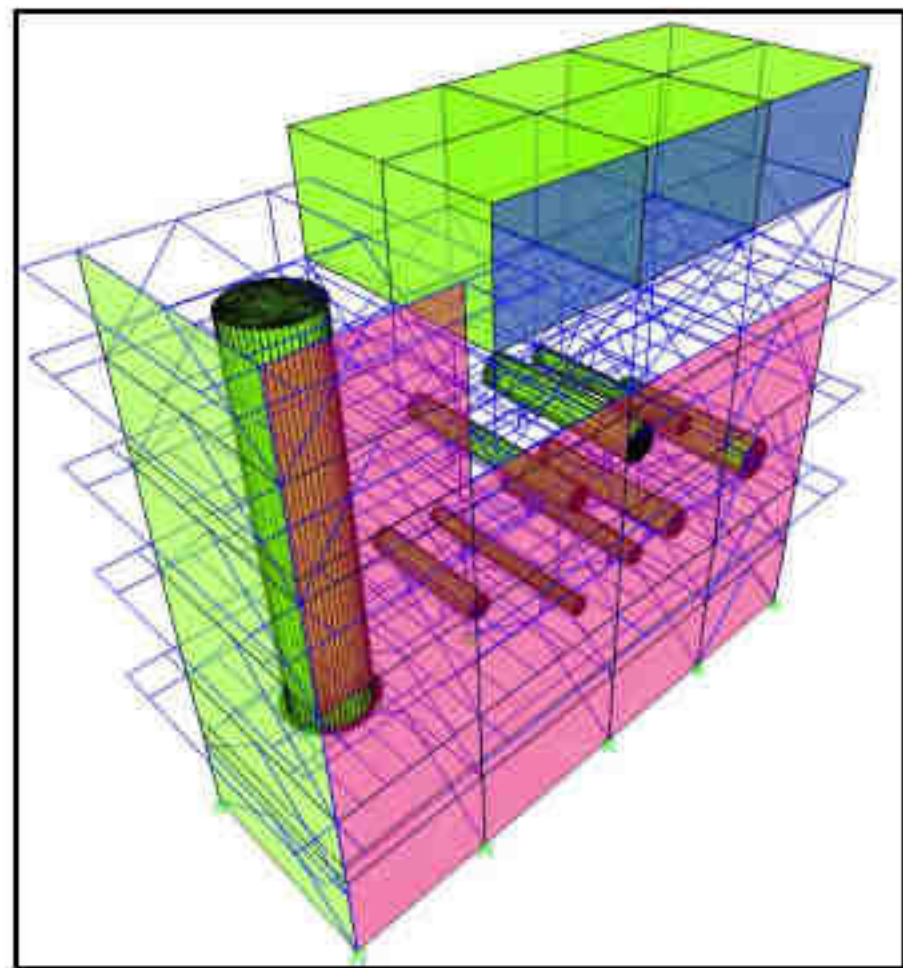
- 体型系数中体现

## 设备的遮挡

- 修改风荷载体型系数

7.4.5 计算设备风荷载时应考虑相邻设备的放大或遮挡影响。并列布置立式圆形设备的风荷载整体体型系数的取值应符合下列要求：

风载系数	
双向风荷载体型系数:	1.3
单向风荷载体型系数:	1.3



# 柱计算长度系数

## 柱计算长度系数

- 失稳模式自动判断
- 失稳模式调整
- 按规范公式计算长度系数

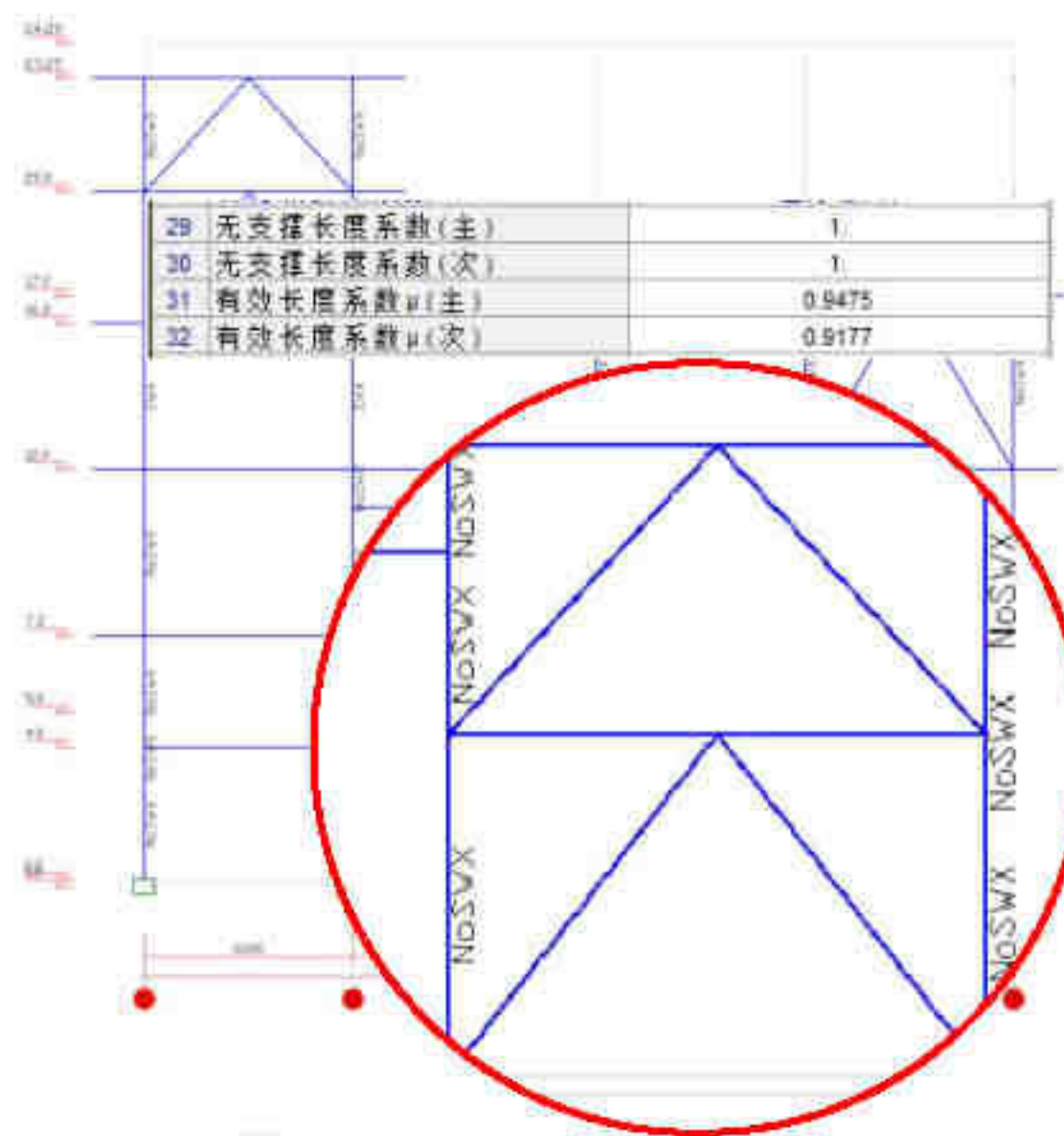
JGJ 99-2015 7.3.2

有侧移失稳

$$\mu = \sqrt{\frac{7.5K_1K_2 + 4(K_1 + K_2) + 1.6}{7.5K_1K_2 + K_1 + K_2}}$$

无侧移失稳

$$\mu = \sqrt{\frac{(1 + 0.41K_1)(1 + 0.41K_2)}{(1 + 0.82K_1)(1 + 0.82K_2)}}$$

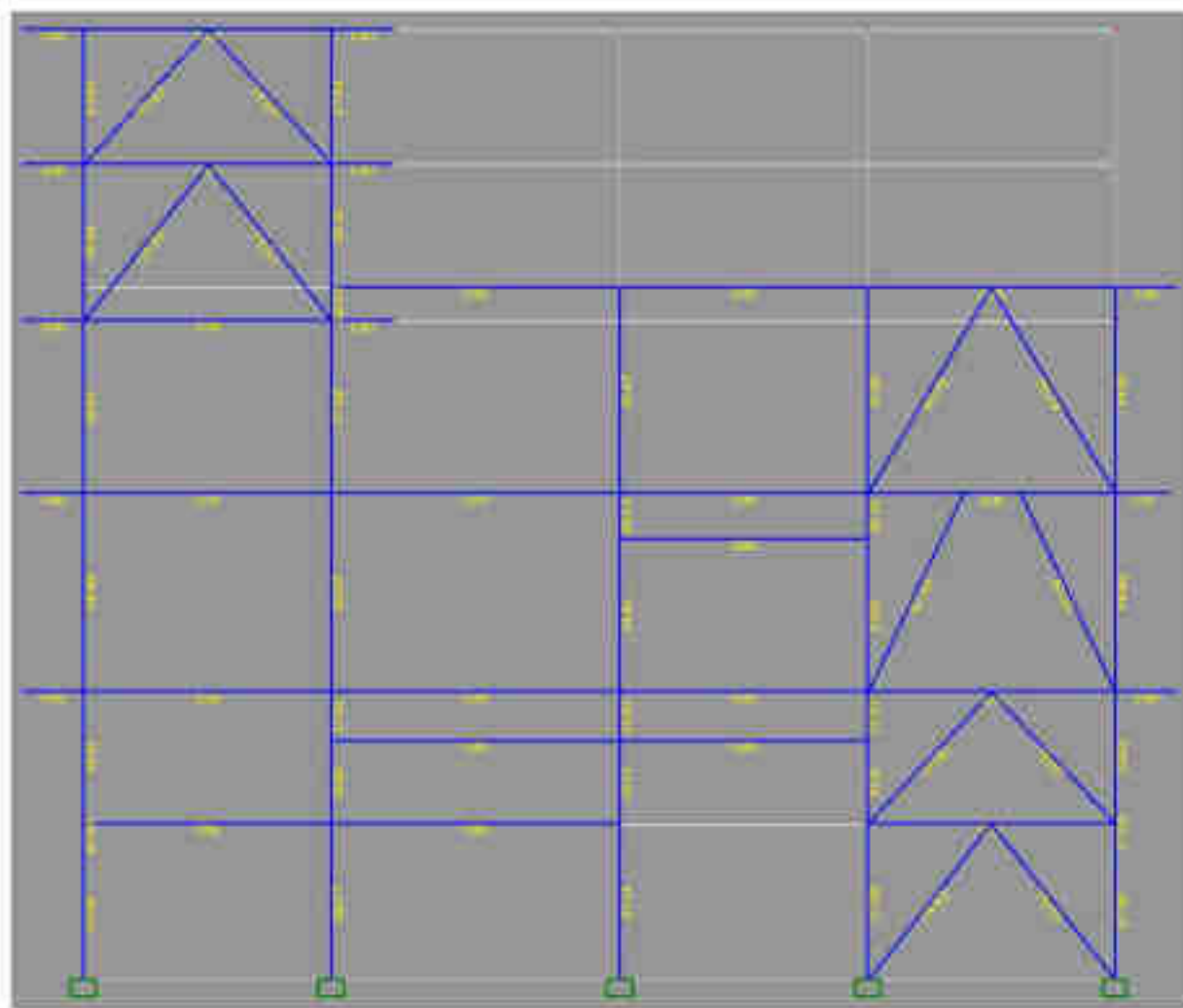




# 长细比

## 长细比计算

- 计算长度系数
- 无支撑长度系数
- 柱截面
- OpenSteel中显示结果



# 地震内力调整

## 地震内力调整

3 钢框架-支撑结构的斜杆可按端部铰接杆计算；其框架部分按刚度分配计算得到的地震层剪力应乘以调整系数，达到不小于结构底部总地震剪力的 25% 和框架部分计算最大层剪力 1.8 倍二者的较小值。

## 地震剪力调整方法

- 槓调整
- 空间调整

表 5.7-1 X 向地震工况下的各层的框架剪力 (kN)

楼层	工况	$V_0$	$V_F$	$V_F'$	$V_F'/V_F$
Story7	EQX	196.461	9.224	48.663	5.267
Story6	EQX	196.461	20.49	48.663	2.385

表 5.7-1 X 向地震工况下的各层的框架剪力 (kN)

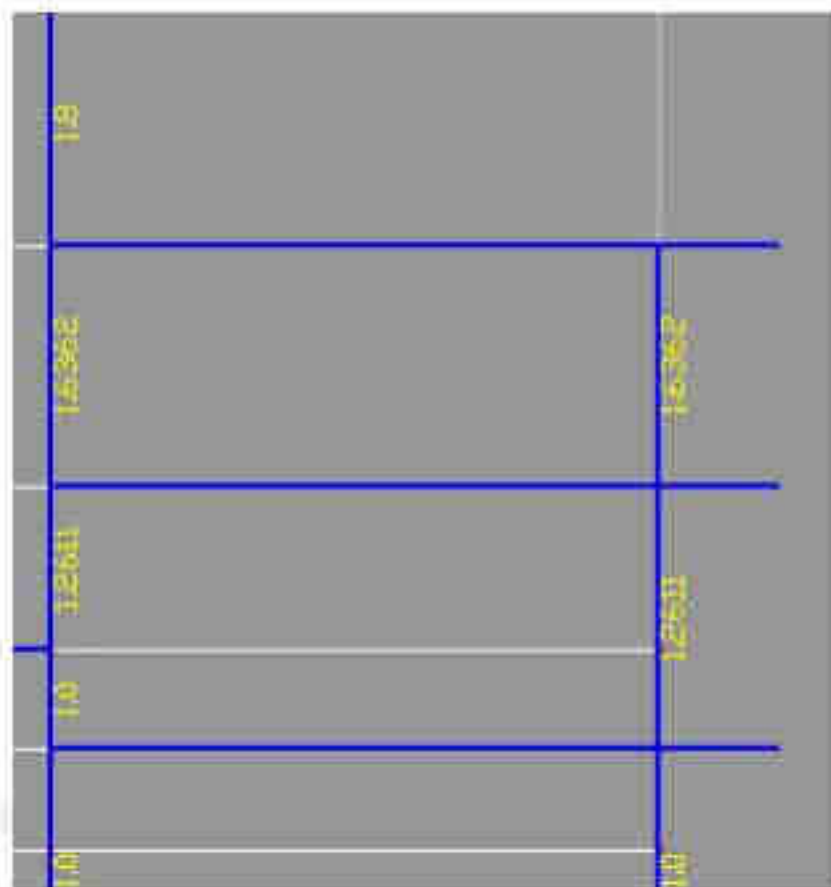
楼层	偏	楼层	工况	$V_0$	$V_F$	$V_F'$	$V_F'/V_F$
Story7	XY 平面 (Y=0.00m)	Story7	EQX	98.092	5.144	24.523	4.768
Story6	XY 平面 (Y=0.00m)	Story6	EQX	98.092	10.608	24.523	2.269
Story5	XY 平面 (Y=0.00m)	Story5	EQX	98.092	84.27	84.27	1.0
Story4	XY 平面 (Y=0.00m)	Story4	EQX	98.092	60.681	60.681	1.0
Story3	XY 平面 (Y=0.00m)	Story3	EQX	98.092	84.311	84.311	1.0
Story2	XY 平面 (Y=0.00m)	Story2	EQX	98.092	100.918	100.918	1.0
Story1	XY 平面 (Y=0.00m)	Story1	EQX	98.092	98.097	98.097	1.0
Story0	XY 平面 (Y=0.00m)	Story0	EQX	98.092	98.097	98.097	1.0



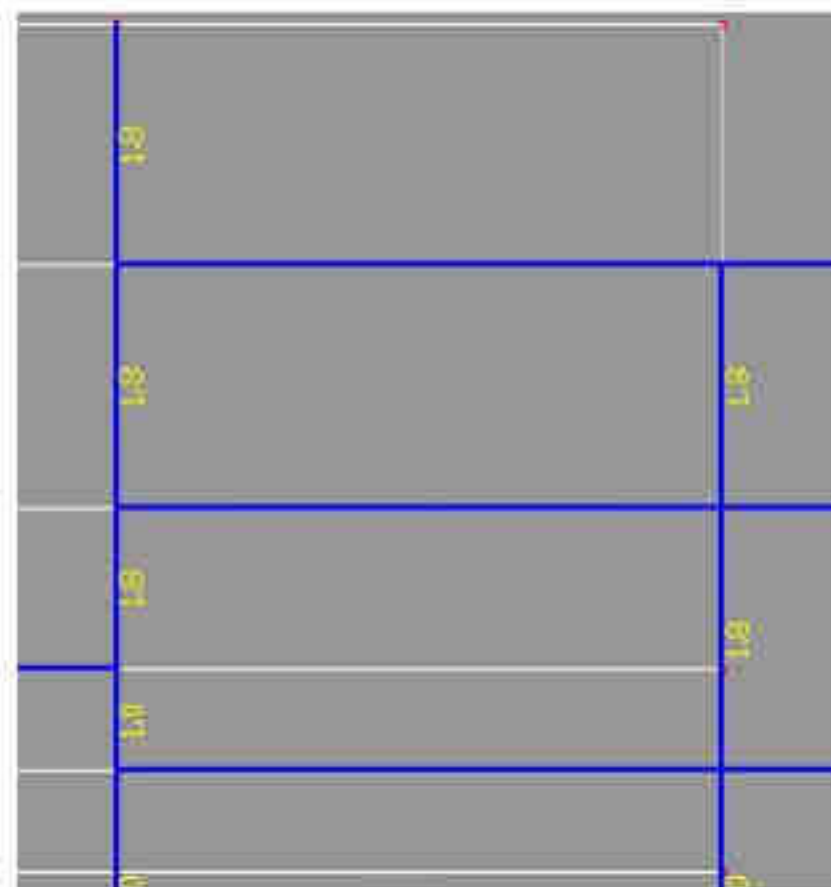
# 地震内力调整

## 地震内力调整

槓調整



空間調整



# 设计方法

## 钢结构稳定设计方法

表 1 各设计方法设置需求

设计方法	初始几何缺陷	P-Δ	构件缺陷	P-δ	计算长度系数	稳定系数 $\phi$	设计弯矩
一阶分析法	无	无	无	无	附录 E	附录 D	分析弯矩
一阶放大法	名义荷载法	内力放大法	无	无	1.0	附录 D	分析弯矩
二阶分析法	名义荷载法	预设 P-Δ 选项或使用非线性工况	无	无	1.0	附录 D	分析弯矩
直接分析法	名义荷载法	预设 P-Δ 选项或使用非线性工况	假想等效弯矩	杆件细分	无	1.0	分析弯矩+假想等效弯矩



### 新钢标“直接分析法”在 ETABS 和 SAP2000 中的实现

筑信达 吴文博

随着最新的《钢结构设计标准（GB 50017-2017）》实施，ETABS v17 和 SAP2000v20.2.0 也进行了相关的更新，其中最主要的更新是实现了新钢标中稳定设计的四种方法。

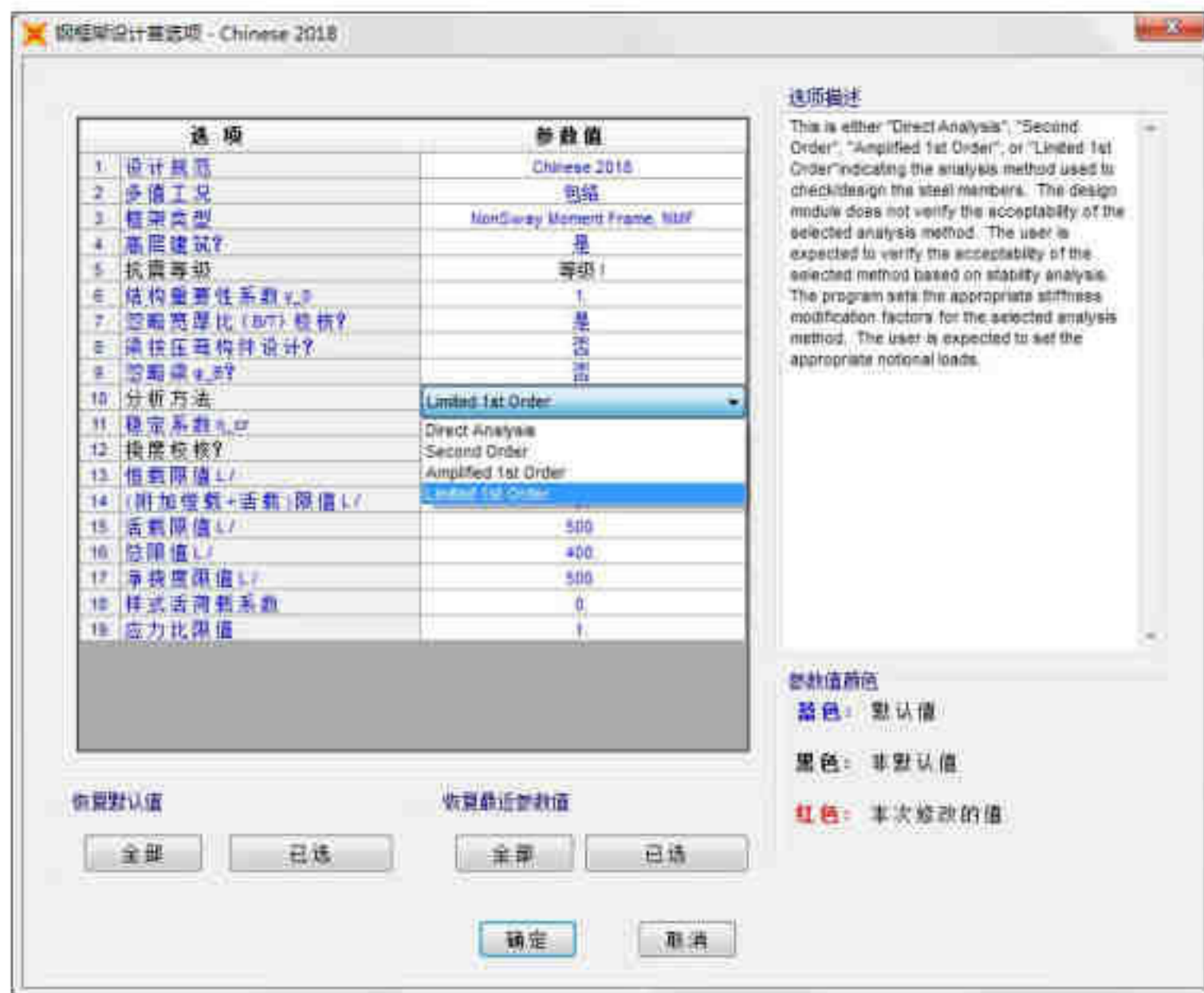
用户可以在钢结构设计首选项中选择相应的设计方法。



# 设计方法

## 钢结构稳定设计方法

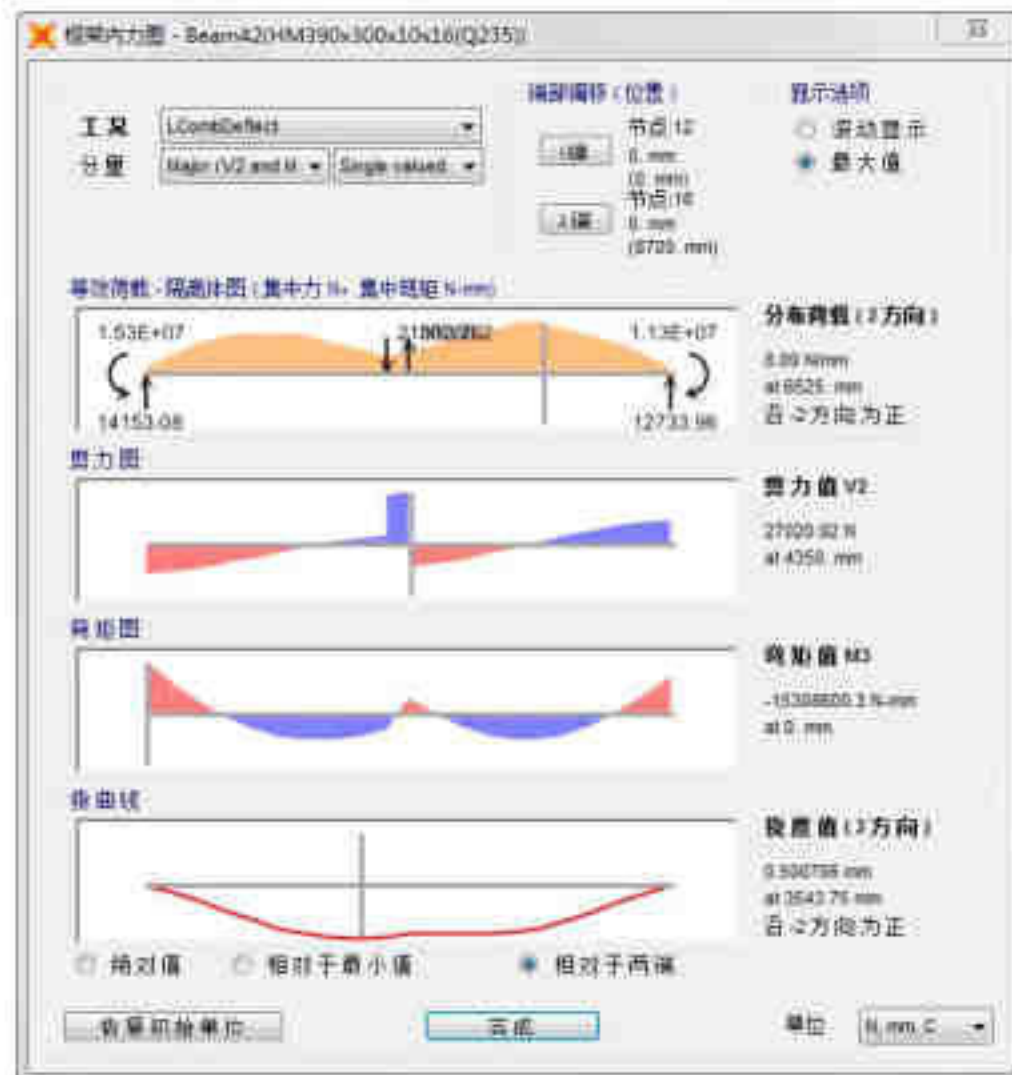
- 直接分析法
- 二阶分析法
- 一阶放大法
- **一阶分析法**



# 挠度计算

## 挠度计算

- 提取SAP2000计算结果
- 在OpenSteel显示挠度





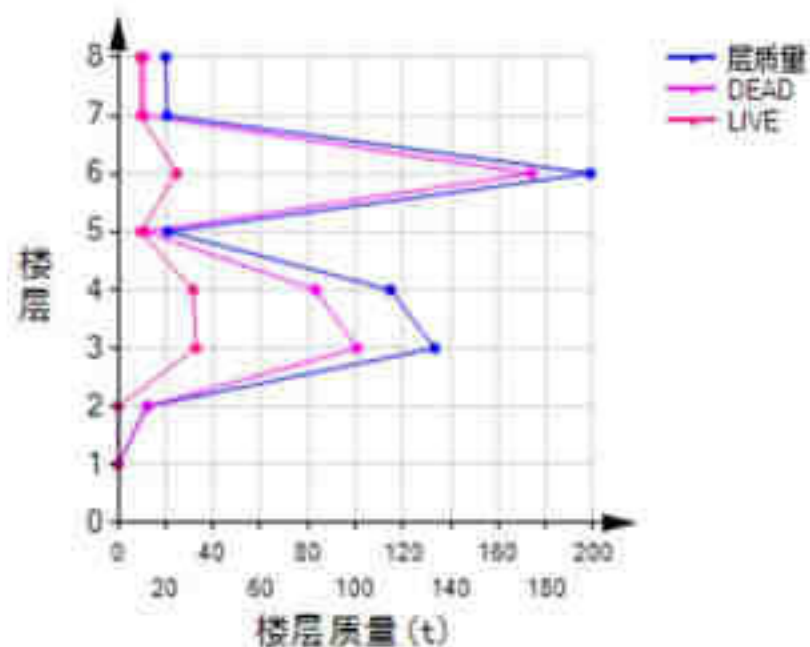
# 文件输出

## 楼层质量

- 提取SAP2000计算结果
- 使用截面分割提取质量结果
- 生成表格和图表

表 4.2 质量分布

楼层	(1.0)DEAD (t)	(0.5)LIVE (t)	层质量 (t)	质量比
Story7	10.909	9.18	20.089	0.978
Story6	10.969	9.569	20.538	0.103
Story5	174.182	24.6	198.782	9.501
Story4	11.35	9.569	20.919	0.183
Story3	83.025	31.565	114.59	0.86
Story2	100.525	32.76	133.286	10.93
Story1	12.194	0.0	12.194	121939404.344
Story0	0.0	0.0	0.0	0.0
总计:	403.124	117.243	520.367	/



# 文件输出

## 楼层重力荷载代表值

- 根据质量源计算
- 使用截面切割命令

表 5.2 楼层重力荷载代表值

楼层	重力荷载代表值
Story7	200.891
Story6	406.276
Story5	2393.793
Story4	2602.98
Story3	3748.876
Story2	5081.734
Story1	5203.674
Story0	5203.674



# 文件输出

## 楼层剪力

- 提取SAP2000结果
- 定义截面切割得到楼层剪力

表 5.3-1 风荷载工况楼层剪力

楼层	工况	剪力 X	剪力 Y
Story7	WINDX	-27.6	0.0
Story6	WINDX	-102.522	0.0
Story5	WINDX	-170.429	0.0
Story4	WINDX	-204.103	0.0
Story3	WINDX	-288.955	0.0
Story2	WINDX	-371.332	0.0
Story1	WINDX	-397.365	0.0
Story0	WINDX	-397.365	0.0

# 文件输出

## 层间位移

- 提取节点位移
- 广义位移

序号	标高(m)	工况	X向柱顶位移(mm)	Y向柱顶位移(mm)
1	23.25	WINDX	12.088	0.024
2	23.25	WINDY	0.51	3.695

楼层	标高(m)	工况	X向层间位移(mm)	Y向层间位移(mm)
Story7	23.25	WINDX	0.269	0.013
Story6	20.0	WINDX	0.689	0.003
Story5	17.0	WINDX	0.195	0.006
Story4	16.2	WINDX	2.497	0.008
Story3	12.0	WINDX	9.338	0.144
Story2	7.2	WINDX	7.008	0.016
Story1	4.0	WINDX	1.471	0.026
Story0	0.2	WINDX	0.0	0.0



## 节点抗震承载力计算

- 抗规 8.2.5
- 计算书输出计算结果

### 1 节点左右梁端和上下柱端的全塑性承载力

等截面梁

$$\sum W_{pc}(f_{yc} - N/A_c) \geq \eta \sum W_{pb}f_{yh} \quad (8.2.5-1)$$

### 2 节点域的屈服承载力应符合下列要求:

$$\psi(M_{pb1} + M_{pb2})/V_p \leq (4/3)f_{yv} \quad (8.2.5-3)$$

### 3 工字形截面柱和箱形截面柱的节点域应按下列公式验算:

$$t_w \geq (h_b + h_c)/90 \quad (8.2.5-7)$$

$$(M_{b1} + M_{b2})/V_p \leq (4/3)f_v/\gamma_{RE} \quad (8.2.5-8)$$

#### 7.1 节点 X1-Y1-h3.400

下柱: Column1 (HW400x400x13x21) 上柱: Column#2 (HW400x400x13x21)  
梁 1: Beam321 (HM244x175x7x11) 梁 2: 无

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-1)  
荷载组合: LoadComb18 轴力 N = 541948.06 N  
节点有支撑, 不需要验算 GB-50011-2010 (8.2.5-1)

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-3)  
 $\phi(M_{pb1}+M_{pb2})/V_p = 0.70(125671420.00+0.00)/1147991.00 = 76.63$   
 $(4/3)F_{yv} = (4/3)130.50 = 174.00$   
满足 GB-50011-2010 (8.2.5-3)

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-7)  
 $t_w = 13.00 > (h_c + h_b) / 90 = (358.00+222.00) / 90 = 6.44$   
满足 GB-50011-2010 (8.2.5-7)

验算《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 (8.2.5-8)  
荷载组合: LoadComb22 弯矩 Mb1 = 1683944.72 Nmm Mb2 = 1683944.72 Nmm  
 $(M_{b1}+M_{b2})/V_p = (1683944.72+0.00)/1147991.00 = 1.47$   
 $(4/3)F_{yv}/\gamma_{re} = (4/3)130.50/0.75 = 232.00$   
满足 GB-50011-2010 (8.2.5-8)

## 节点抗震承载力计算

### — 进行验算的柱截面

工字形截面柱

$$V_p = h_{bl} h_{cl} t_w \quad (8.2.5-4)$$

箱形截面柱

$$V_p = 1.8 h_{bl} h_{cl} t_w \quad (8.2.5-5)$$

圆管截面柱

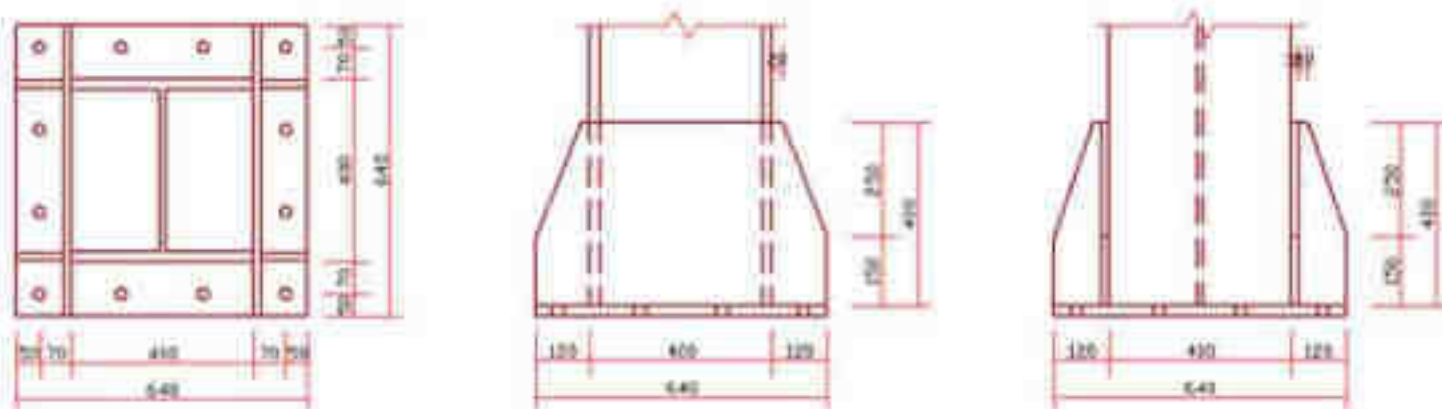
$$V_p = (\pi/2) h_{bl} h_{cl} t_w \quad (8.2.5-6)$$



# 文件输出

## 柱脚计算

- 柱脚类型
- 计算结果



柱脚材料统计表

柱脚名称 (数量)	部件	规格	数量	重量 (kg)		备注
				一件	小计	
SUPT-1 (10)	底板	640x640x25	1	79.87	79.87	
	靴板	640x400x16	2	31.95	63.90	
	加劲板	104x400x16	4	5.19	20.77	
	螺栓	M24x800	4	3.02	12.09	
				SUPT-1 重量: 176.63x10 = 1766.28 kg		
				总计重量: 1766.28 kg		

1. 柱脚内力

2. 靴板材料计算

3. 靴板厚度的确定

4. 靴板计算

5. 靴板计算

6. 柱脚材料重量

7. 柱脚材料重量

8. 柱脚材料重量

9. 柱脚材料重量

10. 柱脚材料重量

11. 柱脚材料重量

12. 柱脚材料重量

13. 柱脚材料重量

14. 柱脚材料重量

15. 柱脚材料重量

16. 柱脚材料重量

17. 柱脚材料重量

18. 柱脚材料重量

19. 柱脚材料重量

20. 柱脚材料重量

21. 柱脚材料重量

22. 柱脚材料重量

23. 柱脚材料重量

24. 柱脚材料重量

25. 柱脚材料重量

26. 柱脚材料重量

27. 柱脚材料重量

28. 柱脚材料重量

29. 柱脚材料重量

30. 柱脚材料重量

31. 柱脚材料重量

32. 柱脚材料重量

33. 柱脚材料重量

34. 柱脚材料重量

35. 柱脚材料重量

36. 柱脚材料重量

37. 柱脚材料重量

38. 柱脚材料重量

39. 柱脚材料重量

40. 柱脚材料重量

41. 柱脚材料重量

42. 柱脚材料重量

43. 柱脚材料重量

44. 柱脚材料重量

45. 柱脚材料重量

46. 柱脚材料重量

47. 柱脚材料重量

48. 柱脚材料重量

49. 柱脚材料重量

50. 柱脚材料重量

51. 柱脚材料重量

52. 柱脚材料重量

53. 柱脚材料重量

54. 柱脚材料重量

55. 柱脚材料重量

56. 柱脚材料重量

57. 柱脚材料重量

58. 柱脚材料重量

59. 柱脚材料重量

60. 柱脚材料重量

61. 柱脚材料重量

62. 柱脚材料重量

63. 柱脚材料重量

64. 柱脚材料重量

65. 柱脚材料重量

66. 柱脚材料重量

67. 柱脚材料重量

68. 柱脚材料重量

69. 柱脚材料重量

70. 柱脚材料重量

71. 柱脚材料重量

72. 柱脚材料重量

73. 柱脚材料重量

74. 柱脚材料重量

75. 柱脚材料重量

76. 柱脚材料重量

77. 柱脚材料重量

78. 柱脚材料重量

79. 柱脚材料重量

80. 柱脚材料重量

81. 柱脚材料重量

82. 柱脚材料重量

83. 柱脚材料重量

84. 柱脚材料重量

85. 柱脚材料重量

86. 柱脚材料重量

87. 柱脚材料重量

88. 柱脚材料重量

89. 柱脚材料重量

90. 柱脚材料重量

91. 柱脚材料重量

92. 柱脚材料重量

93. 柱脚材料重量

94. 柱脚材料重量

95. 柱脚材料重量

96. 柱脚材料重量

97. 柱脚材料重量

98. 柱脚材料重量

99. 柱脚材料重量

100. 柱脚材料重量



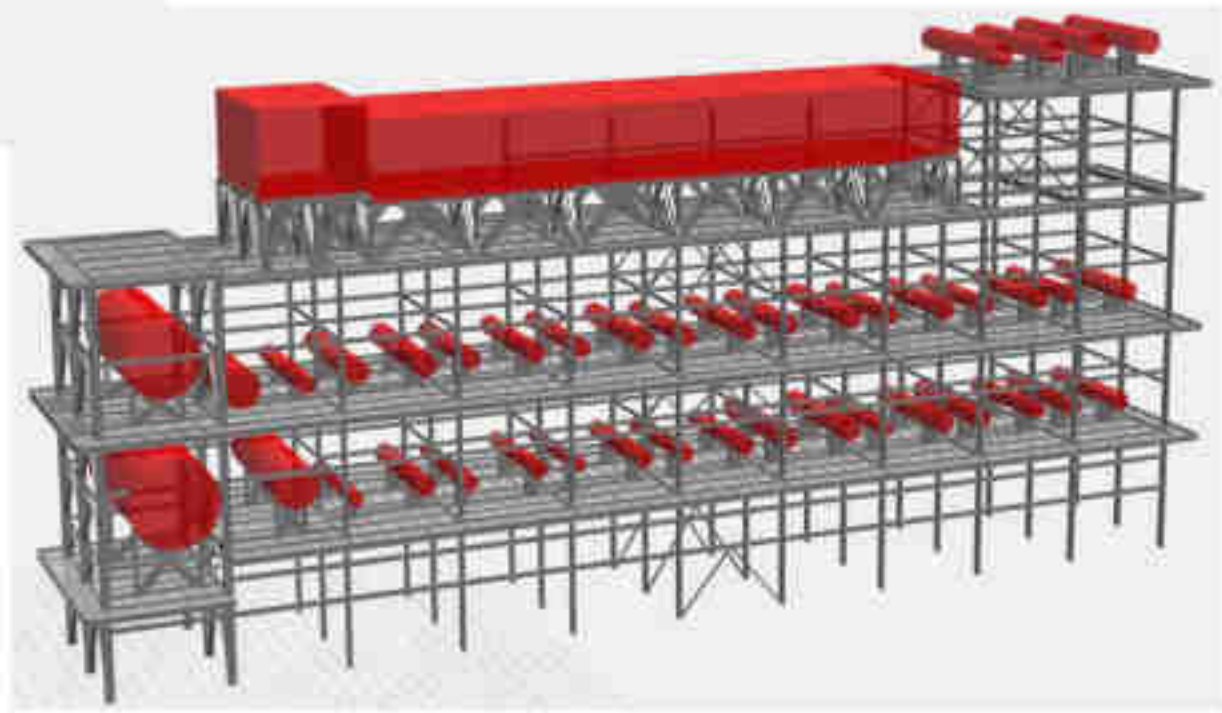


## PART 03

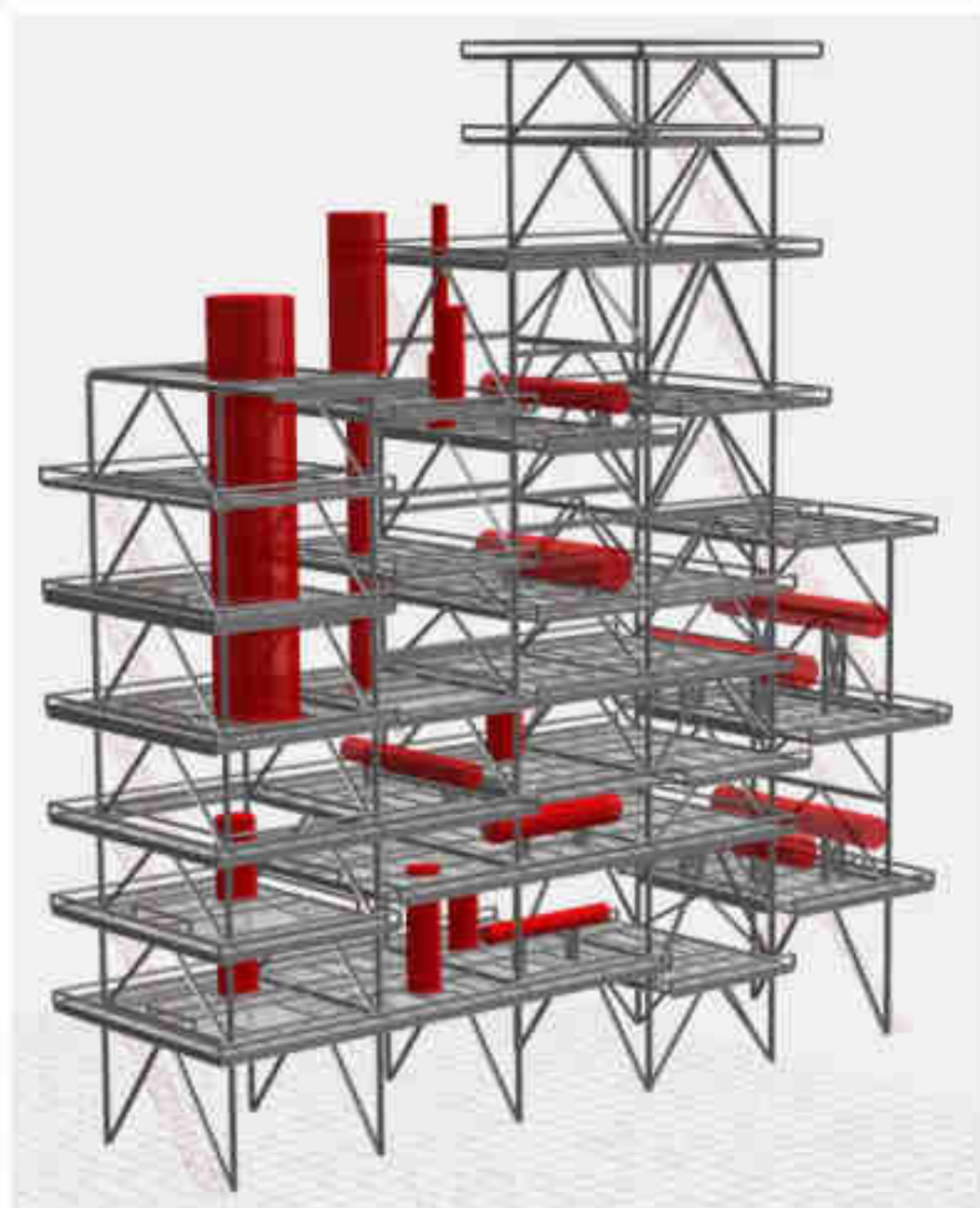
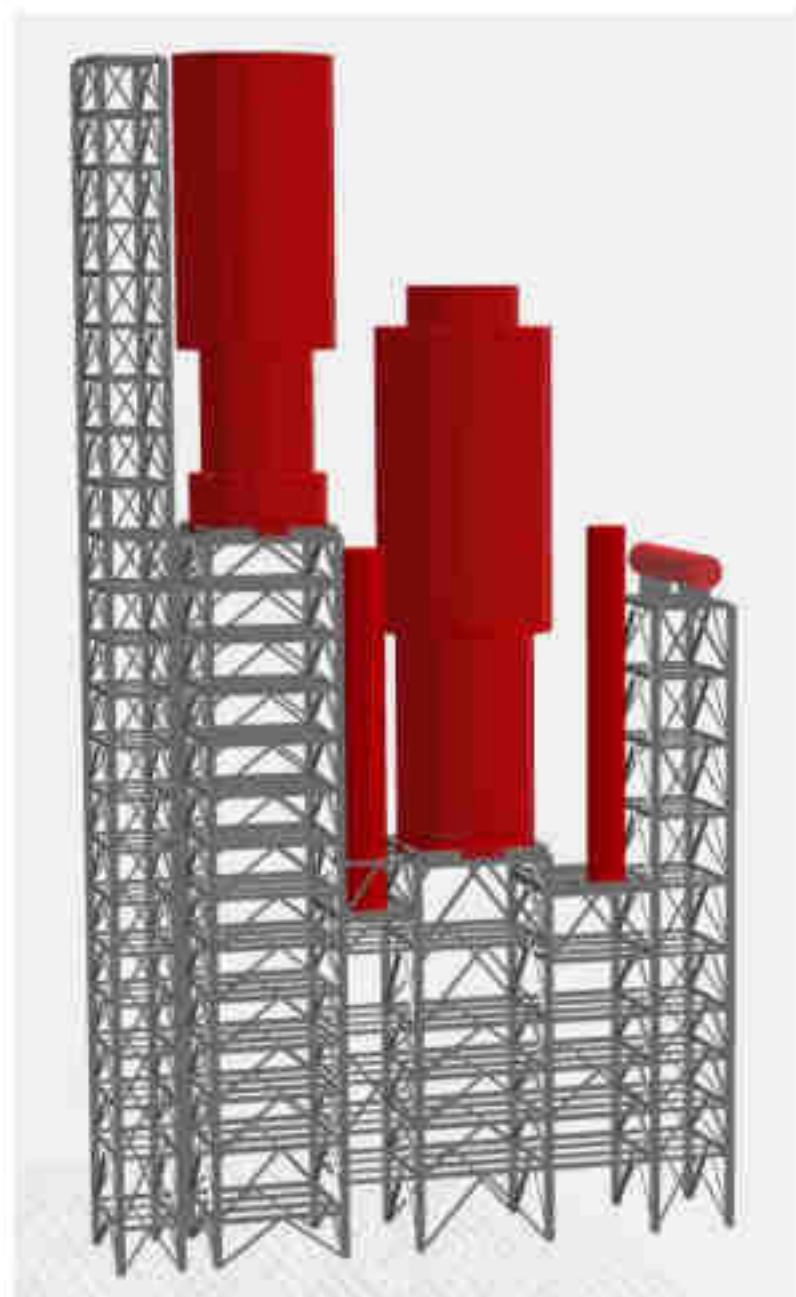
## 工程案例



# 工程案例

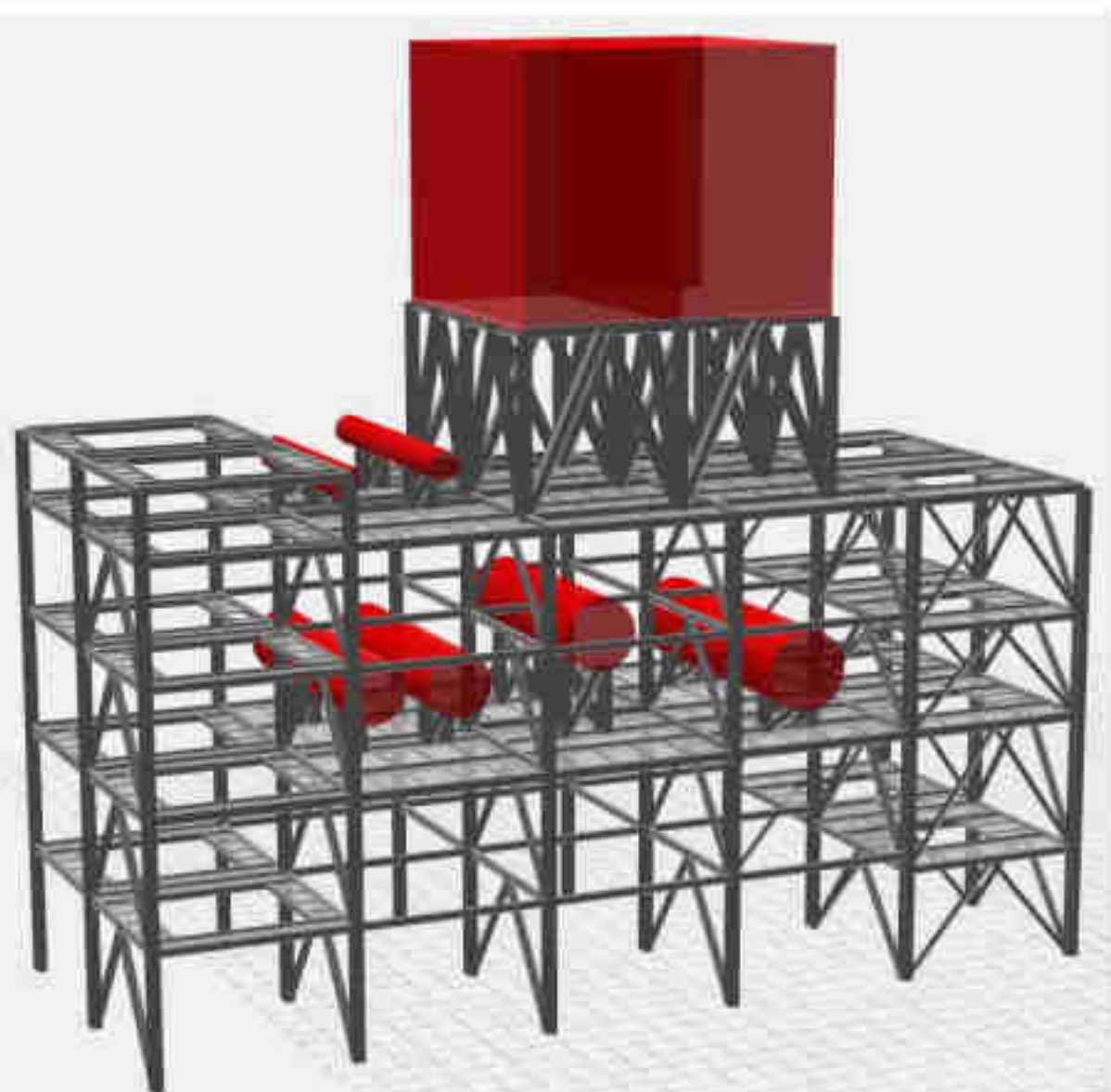
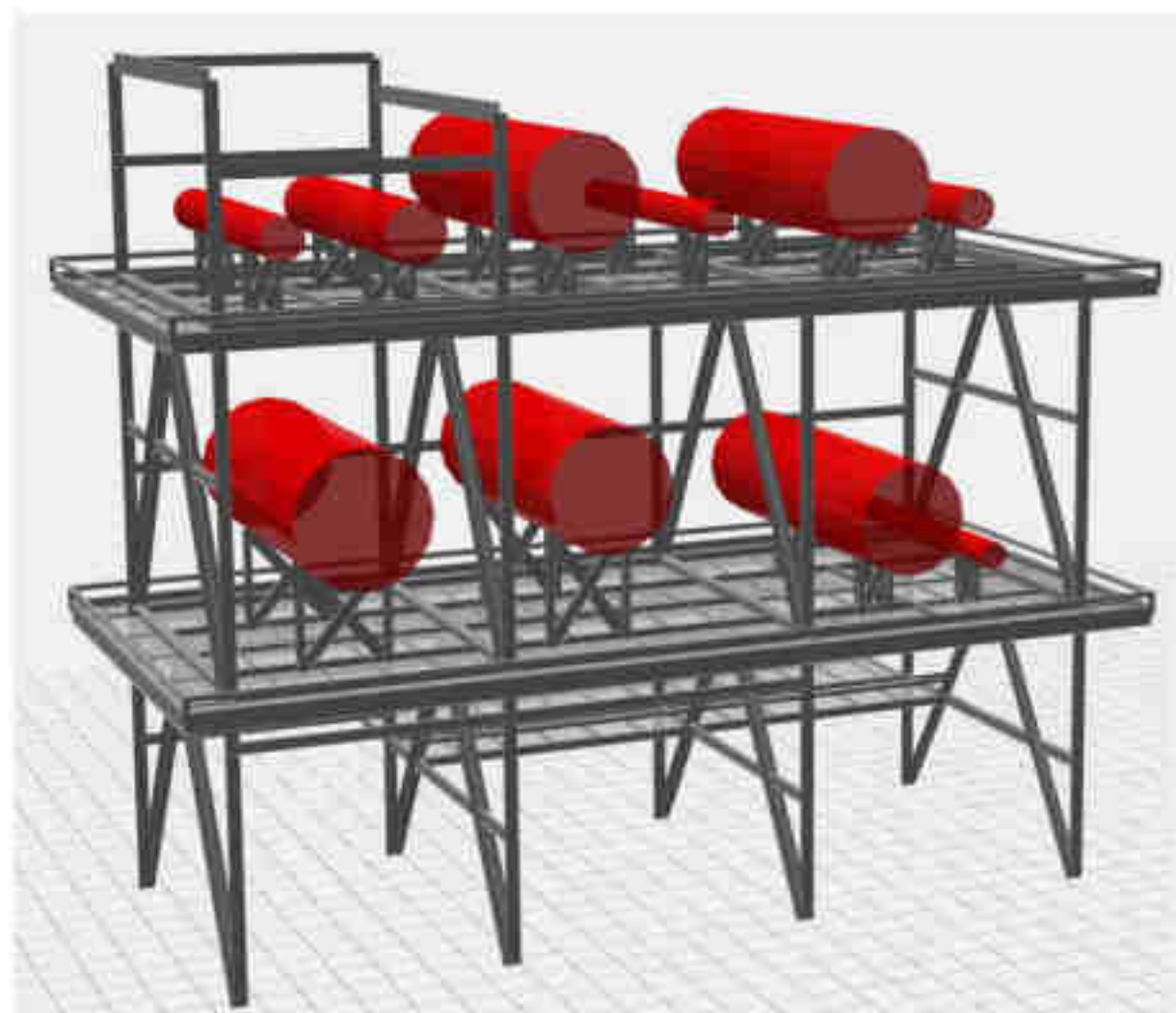


# 工程案例





# 工程案例





# 谢谢!





# 中国石油工程建设协会



北京华思维信息技术有限公司

SAP2000产品联系人

产品经理：王博 15910608694 wangb@hsw.com.cn

谢谢！