

集成化的通用结构分析与设计软件

**SAP2000®**

**案例教程**



北京筑信达工程咨询有限公司

北京市石景山区古盛路 36 号院 1 号楼泰然大厦 408, 100043

# 版 权

计算机程序 SAP2000 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围内的所有权属于 Computers and Structures, Inc. (中文版权同属于北京筑信达工程咨询有限公司)。如果没有 CSI 和北京筑信达工程咨询有限公司的预先书面许可, 未经许可的程序使用或任何形式的文档复制一律禁止。

更多信息和此文档的副本可从以下途径获得:

[北京筑信达工程咨询有限公司](#)

北京市石景山区古盛路 36 号院 1 号楼泰然大厦 408 100043

电话: 86-10-6892 4600

传真: 86-10-6892 4600-8

电子邮件: support@cisec.cn

网址: www.cisec.cn

北京筑信达工程咨询有限公司版权所有 ©, 2019.

## 钢结构栈桥

本教程旨在指导读者在 SAP2000 中创建钢结构栈桥的几何模型并完成相关的属性指定、荷载施加、结构分析及后处理等工作。在具体操作过程中，读者应熟悉并掌握 SAP2000 的以下功能：导入 DXF 文件、指定支座条件和框架端部释放、施加荷载、定义反应谱工况以及结果查看等。根据本教程执行操作，可创建如图 0-1 所示模型。

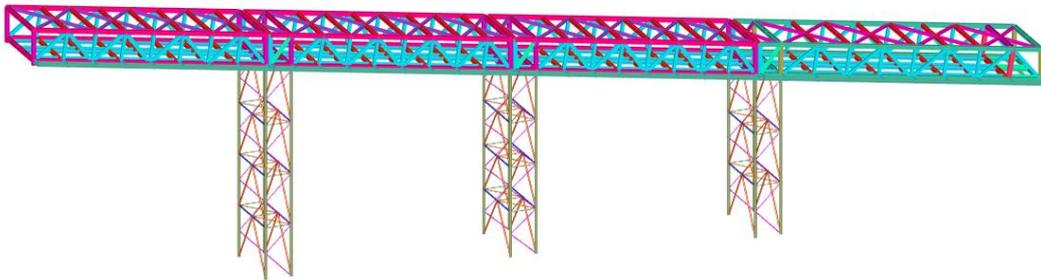


图 0-1 钢结构栈桥

### 1 工程概况

栈桥楼板顶面设计标高 228.300m，底面设计标高 209.100m，总长度 119.468m，结构沿长度方向分为 4 段桁架，从左到右每段桁架的跨度依次为 (29.3+28.8×2+32.568) m，如图 1-1 所示。

桁架的宽度为 7.75m，桁架高度根据工艺要求取为 3.5m。由于荷载较大，桁架的支座采用盆式橡胶支座。为减小温度作用及不均匀沉降的不利影响，支座形式采用一端铰接、一端单向滑动。桁架的楼面板采用 130 厚的钢筋桁架组合楼板。

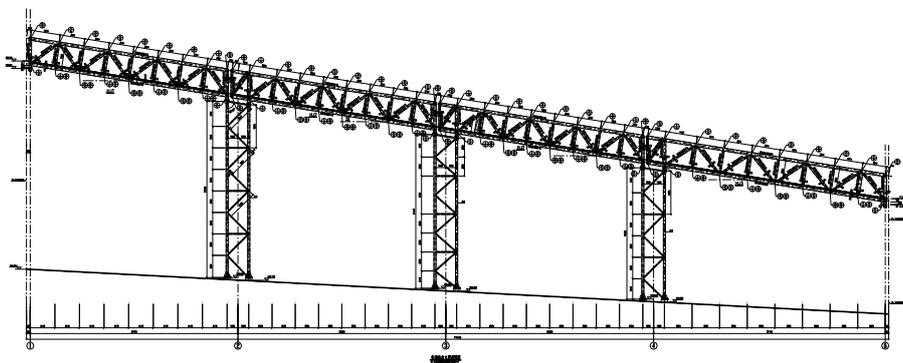


图 0-1 钢栈桥立面图

钢栈桥的结构设计需要在保证安全的前提下，做到结构经济、受力合理。支承钢栈桥的高支架采用圆钢管相贯焊的结构形式。钢桁架由于受荷较大，主弦杆采用箱形截面、腹杆采用箱形截面和型钢，次梁与支撑采用型钢。

### 1.1 支承钢栈桥的高支架

高支架的主柱采用 D299X16 的圆钢管，7.75m 跨部分的支撑采用 D180X8、D168X8 的圆钢管，3m 跨部分的支撑采用 D95X6 的圆钢管，如图 1-2 所示。

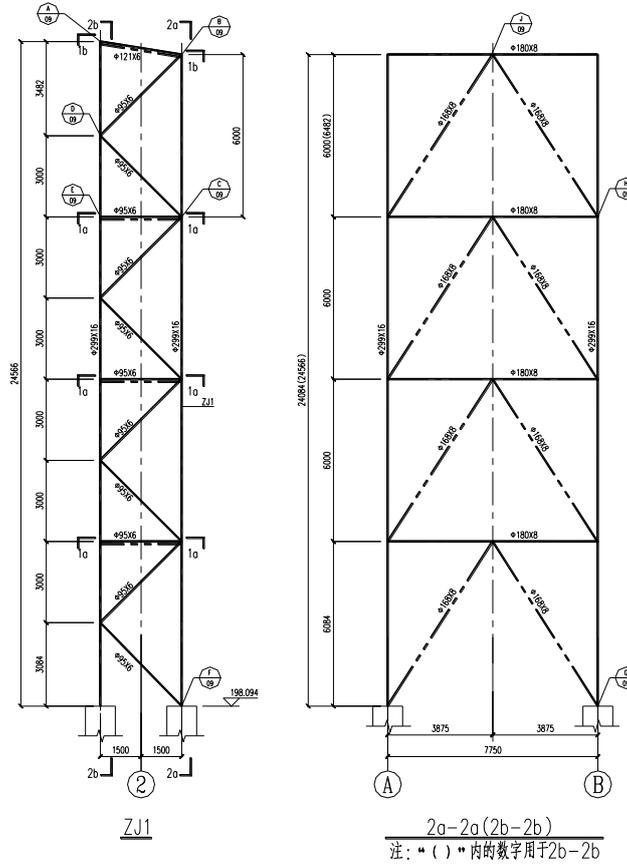


图 0-2 高支架的立面图

### 1.2 钢桁架

钢桁架的主弦杆采用 K400X350X16 的箱形截面，腹杆采用 K250X362X14、K250X362X12 的箱形截面，如图 1-3 所示。

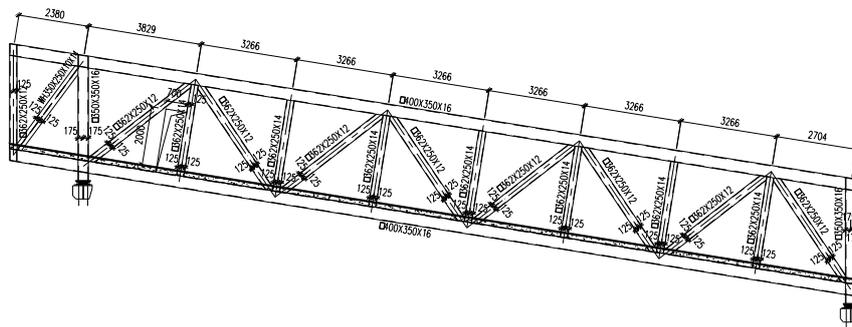


图 0-3 钢桁架的立面图

## 2 定义材料和截面

### 2.1 添加材料

命令路径：**【定义>材料>添加材料】**

点击上述命令后，在弹出的**【添加材料】**对话框中依次选择**【国家/地区>China】**、**【材料类型>Steel】**和**【材料等级>Q235】**后点击**【确定】**按钮，如图 2-1 所示。



图 0-4 添加材料

### 2.2 添加截面

命令路径：**【定义>截面属性>框架截面>导入框架截面>STEEL 截面>圆管】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择 ChineseGB08.pro 文件，之后选择 D299X16 并点击**【确定】**按钮，如图 2-2 所示。

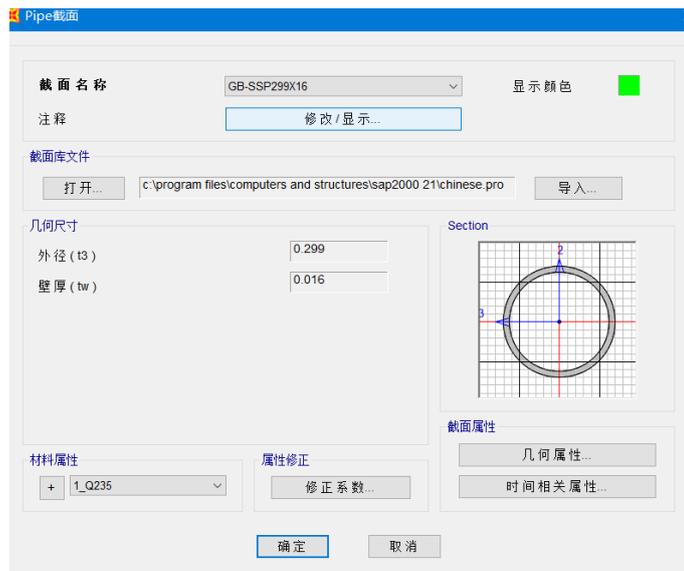


图 0-5 导入 D299X16 截面

命令路径：**【定义>截面属性>框架截面>添加框架截面>STEEL 截面>方管】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中修改截面名称为 K400x250x10x16，之后输入几何参数，如图 2-3 所示。其余型钢及管材截面的定义与上述操作类似，此处不再赘述。

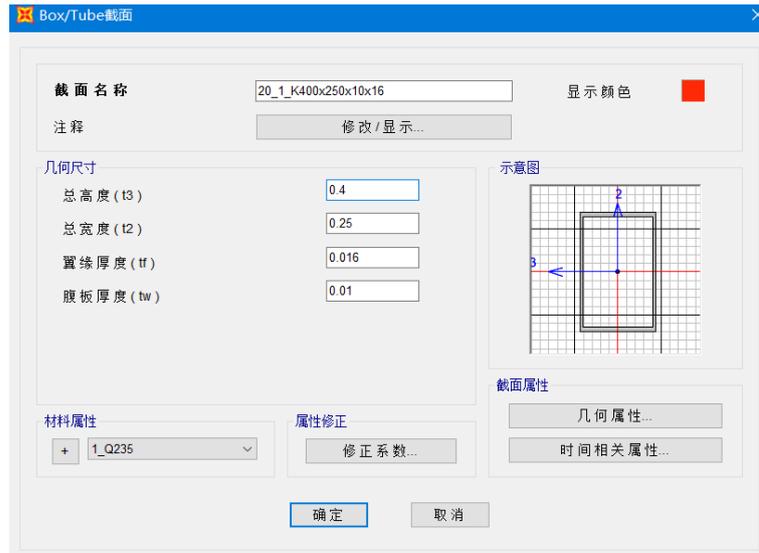


图 0-6 箱形截面

### 3 几何建模

由于整个钢结构栈桥的几何模型比较复杂，本教程采用从 CAD 中导入结构的立面单线图并以此加以修改来创建 SAP2000 模型。

#### 3.1 生成 DXF 文件

根据工艺专业提供的中间资料布置桁架的杆件、支座、高支架等相关构件，在 AutoCAD 中绘制结构单线图，如图 3-1 所示。在绘制结构单线图时，建议将桁架和高支架分别指定为不同图层，以便导入 SAP2000 后进行对象分组。

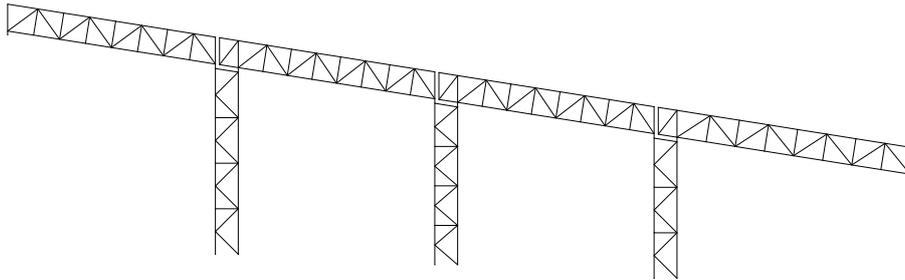


图 0-7 栈桥结构单线图

#### 3.2 导入 DXF 文件

在 AutoCAD 中将结构单线图保存为 DXF 文件后即可导入 SAP2000，具体操作如下：

**命令路径：【文件>导入>AutoCAD 文件】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择拟导入的 DXF 文件，在【导入信息】对话框中根据 AutoCAD 采用的长度单位选择相应的单位制，本案例应选择“N, mm, C”，如图 3-2 所示。



图 0-8 导入信息

完成上述操作后，在【导入 DXF 文件】对话框中选择框架对象从属的图层 FRAMES，如图 3-3 所示。最后，点击【确定】按钮即可完成几何模型的导入，如图 3-4 所示。



图 0-9 导入 DXF 文件

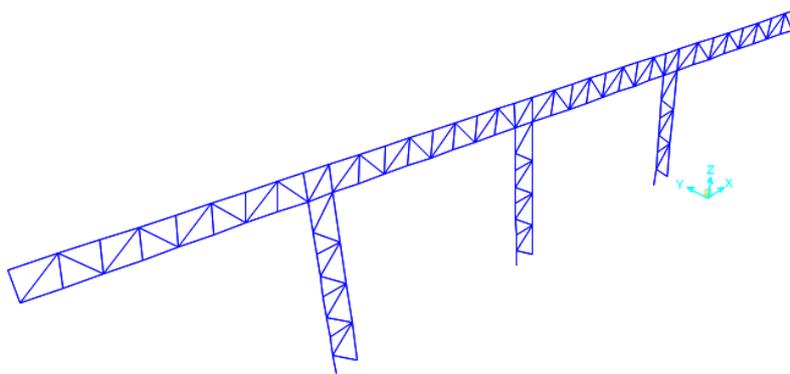


图 0-10 导入 SAP2000 后的平面模型

### 3.3 定义对象组

为了便于后续重复性的对象选择，此处将当前几何模型进行对象分组。除前述导入 DXF 文件后自动生成的对象组外，读者仍需定义若干对象组。

**命令路径：【定义>对象组】**

点击上述命令后，在弹出的【定义对象组】对话框中点击【添加对象组】按钮，修改名称为“09 下部钢支架”，其余保持默认设置，如图 3-5 和 3-6 所示。依此方法定义其余对象组，此处不再赘述。



图 0-11 添加对象组

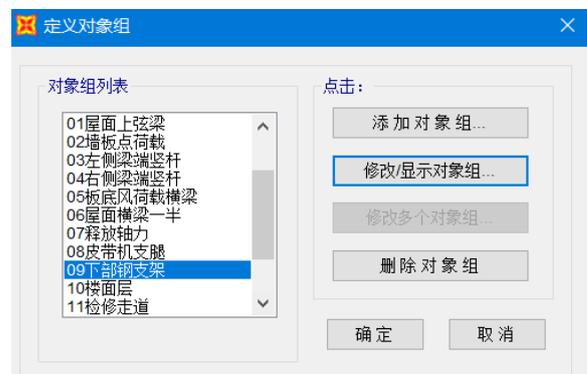


图 0-12 对象组列表

### 3.4 补充并完善整体结构

在当前平面模型的基础上，选择立面杆件并沿 Y 向复制，之后拉伸节点成线、绘制框架对象以及指定框架截面，逐步完善整体的空间模型。

命令路径：**【选择>选择>对象组】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择“下部钢支架”对象组。

命令路径：**【编辑>带属性复制>线性复制】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中输入几何参数，如图 3-7 所示。



图 0-13 带属性复制

在两榀桁架之间绘制次梁和钢支撑并指定框架截面，下部钢支架也采取类似的操作。完成全部操作后，整体空间模型的拉伸显示效果如图 3-8 所示。

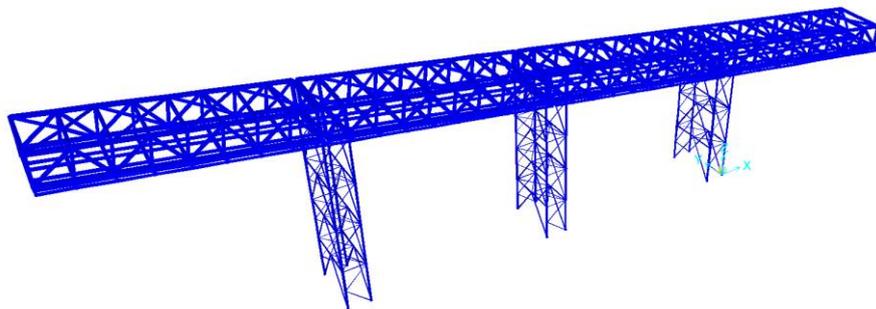


图 0-14 结构整体模型

## 4 支座条件和端部释放

### 4.1 次梁及支撑的端部释放

命令路径：**【指定>框架>端部释放】**

选择楼面内需要指定端部释放的次梁和支撑后点击上述命令，在弹出的对话框中勾选“轴力 P、弯矩 M22 和弯矩 M33”，如图 4-1 所示。

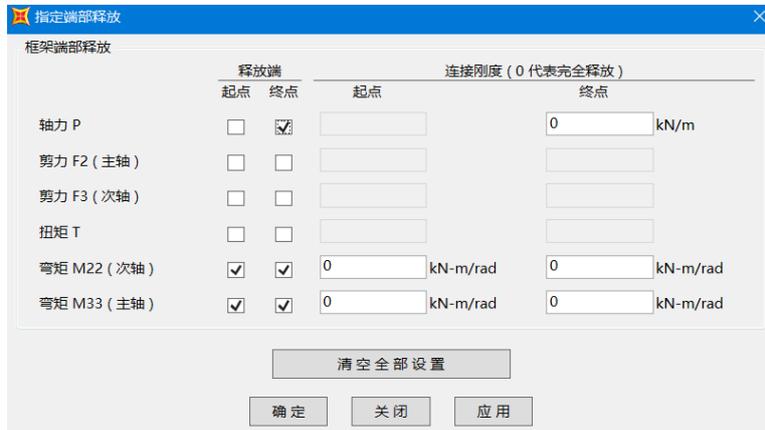


图 0-15 框架端部释放

### 4.2 高支架柱脚的支座条件

命令路径：**【指定>节点>支座】**

选择高支架的柱脚节点后点击上述命令，在弹出的对话框中在“固定支座”，如图 4-2 所示。

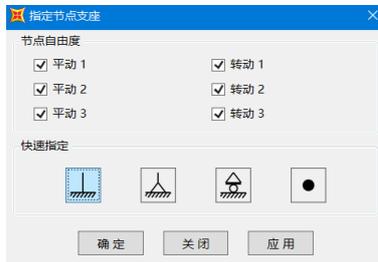


图 0-16 固定支座

### 4.3 支承于转运站上的钢桁架的支座条件

命令路径：**【指定>节点>支座】**

在本案例中，支承于转运站上的钢桁架支座拟采用单向滑动铰支座。选择钢桁架位于转运站上的节点后点击上述命令，在弹出的对话框中选择“固定铰支座”并取消勾选“平动 1”，如图 4-3 所示。



图 0-17 滑动铰支座

#### 4.4 支承于高支架上的钢桁架的支座条件

支承于高支架上的钢桁架支座拟采用指定端部释放的方式进行模拟，单向滑动支座需根据框架局部轴判断端部剪力的释放方向，具体操作如下所示。

**命令路径：【显示>对象属性>框架】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择“框架局部轴”，之后即可在视图中查看框架对象的局部轴方向，如图 4-4 所示。由图 4-4 可知，单向滑动方向为局部 2 轴。

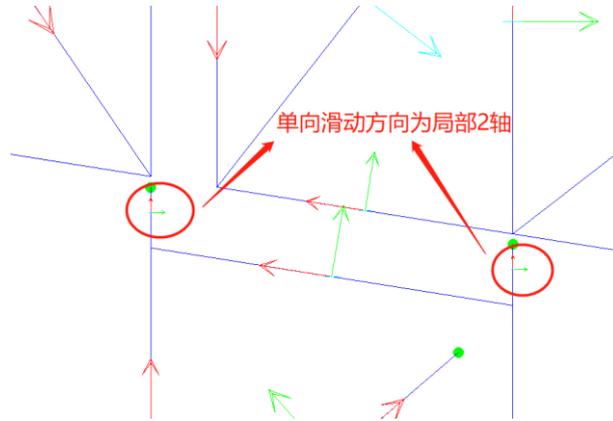


图 0-18 框架局部轴

**命令路径：【指定>框架>端部释放】**

选择高支架顶部节点后点击上述命令，在弹出的对话框中勾选拟释放的端部内力分量，如图 4-5 所示。固定铰支座只需释放两个端部弯矩分量，如图 4-6 所示。上述单向滑动支座和固定铰支座的定义，可在后处理中通过查看结构变形图或构件弯矩图进行复核。



图 0-19 单向滑动支座图



0-20 固定铰支座

## 5 施加荷载

### 5.1 荷载计算

#### 恒荷载

- 桁架式组合楼板自重

130 厚混凝土板的等效自重如下所示，本案例取  $3.5 \text{ kN/m}^2$ 。

$$q_2 = 25 \times 0.13 \div \cos 13.9 = 3.35 \text{ kN/m}^2$$

- 桁架上部屋面板及檩条自重估算

本案例中的屋面板采用夹芯板，考虑到檩条和拉条等围护构件，可取自重为  $0.25 \text{ kN/m}^2$ 。本案例将屋面均布荷载折算为作用于桁架上弦杆的线荷载，中间弦杆取  $0.25 \times 3.9 = 1 \text{ kN/m}$

- 桁架两侧墙面板及墙梁自重估算

本案例中的屋面板采用夹芯板，考虑到檩条和拉条等围护构件，可取自重为  $0.3 \text{ kN/m}^2$ 。本案例将墙面荷载折算为作用于桁架弦杆和腹杆节点处的点荷载，中间节点取  $0.3 \times 3.9 \times (3.4 + 0.4) / 2 = 2.3 \text{ kN}$

#### 活荷载

- 屋面活载

本案例将屋面均布活载折算为作用于桁架上弦杆的线荷载，中间弦杆取  $0.5 \times 3.6 = 1.8 \text{ kN/m}$

- 工艺专业提供的皮带机荷载

工艺荷载 1：竖向力  $10 \text{ kN}$ ；

竖向荷载折算为线荷载： $10 / 3 = 3.4 \text{ kN/m}$ ；

工艺荷载 2：水平力  $-45 \text{ kN}$ ，竖向力  $65 \text{ kN}$ ；

工艺荷载 3：水平力  $+40 \text{ kN}$ ，竖向力  $60 \text{ kN}$ ；

- 检修走道活载： $2 \text{ kN/m}^2$
- 皮带机下面板活载： $2 \text{ kN/m}^2$

#### 风荷载

对于高支架封闭式栈桥风荷载的体型系数，《建筑结构荷载规范》并未提供具体取值。本教程参考《火力发电厂土建结构设计技术规程 DL 5022-2012》，具体取值如图 5-1 所示。

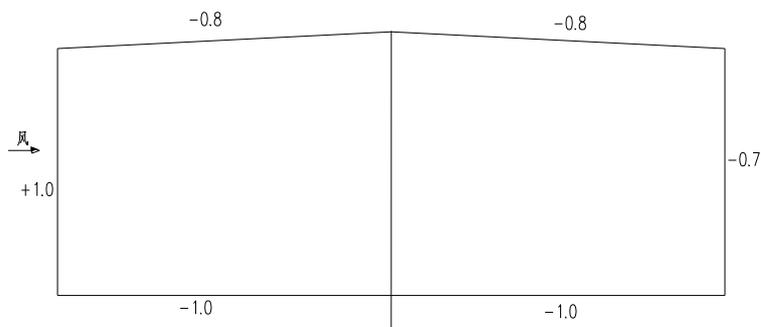
表 3.4.5 封闭式运煤栈桥体型系数	
类别	体型及体型系数
封闭式运煤栈桥	

图 0-21 封闭式栈桥的体型系数

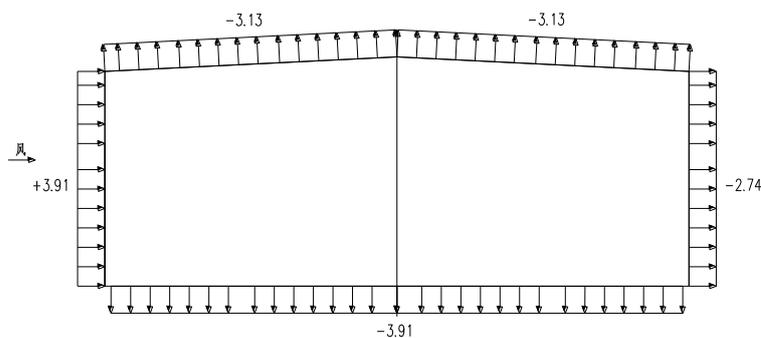
由于封闭式桁架的风荷载由布置于桁架竖直腹杆上的檩条传递，故可将均布面风荷载等效为线荷载并施加在桁架的竖直腹杆上。本案例考虑的基本风压为  $0.4 \text{ kN/m}^2$ ，风振系数为 1.5，等效线荷载的计算过程如下：

#### 左风载

编号	受荷宽度	体型系数	$\mu_z$ (约30m)	基本风压	风载均布值	风载线荷值
q1	3.9	1	1.67	0.6	1.00	3.91
q2	3.9	-0.8	1.67	0.6	-0.80	-3.13
q3	3.9	-0.8	1.67	0.6	-0.80	-3.13
q4	3.9	-0.7	1.67	0.6	-0.70	-2.74
q5	3.9	-1	1.67	0.6	-1.00	-3.91



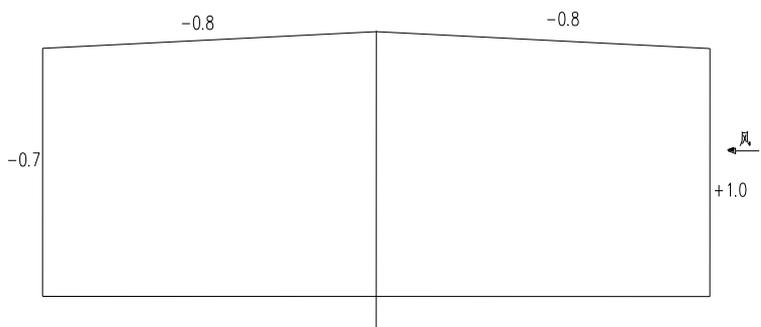
风载体型系数



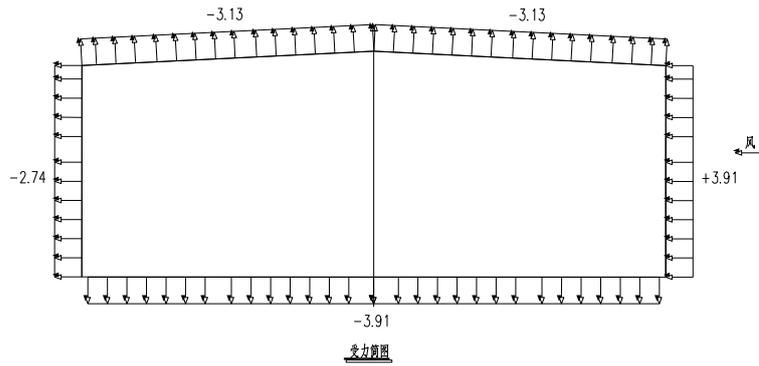
受力简图

右风载

编号	受荷宽度	体型系数	$\mu_z$ (约30m)	基本风压	风载均布值	风载线荷值
q1	3.9	-0.7	1.67	0.6	-0.70	-2.74
q2	3.9	-0.8	1.67	0.6	-0.80	-3.13
q3	3.9	-0.8	1.67	0.6	-0.80	-3.13
q4	3.9	1	1.67	0.6	1.00	3.91
q5	3.9	-1	1.67	0.6	-1.00	-3.91



风载体型系数



### 高支架风荷载计算

高支架最高点距离地面约 30m，取风压高度变化系数 $\mu_z = 1.67$ 。根据高支架各杆件截面放样，可求得挡风系数 $\phi = A_n/A = 0.25$

$$b/h = 7.75/3 = 2.6, \eta = 0.83, \mu_s = 1.2$$

$$\mu_{stw} = 0.25 \times 1.2 \times (1 - 0.83^2)/(1 - 0.83) = 0.55$$

$$W_k = \mu_{stw} \mu_z W_0 = 0.55 \times 1.67 \times 0.6 = 0.55 kN/m^2$$

高支架总风荷载： $A = 25 \times 3 = 75 m^2$

单个节点荷载： $F_{风桁} = 0.55 \times 75 = 10.3 kN$

### 5.2 定义荷载模式

命令路径：**【定义>荷载模式】**

钢栈桥主要承受四种类型的荷载，即：恒荷载、活荷载、风荷载和地震作用，故需要定义以上四种荷载模式。点击上述命令后，在弹出的对话框中依次输入荷载模式的名称并选择荷载类型，如图 5-2 所示。



图 0-22 定义荷载模式

### 5.3 施加面荷载

命令路径：**【绘制>多边形面】**

为了添加楼面均布恒载和活载，本案例采用“虚面+导荷”的方式施加均布面荷载。点击上述命令后，在弹出的对话框中选择**【截面属性】**为“空”即可绘制虚面，如图 5-3 所示。完成几何绘制操作后的整体空间模型如图 5-4 所示。

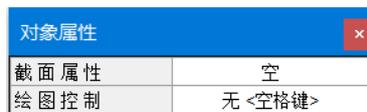


图 0-23 虚面属性

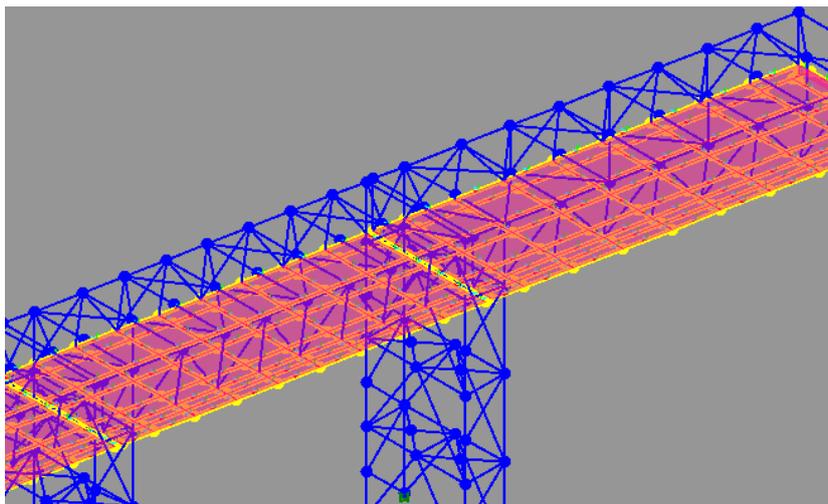


图 0-24 楼面板

命令路径：**【指定 > 面荷载 > 导荷至框架的均布面荷载】**

选择全部虚面后点击上述命令，在弹出的对话框中设置选项并输入参数，如图 5-5 所示。恒/活荷载的施加方式类似，此处不再赘述。

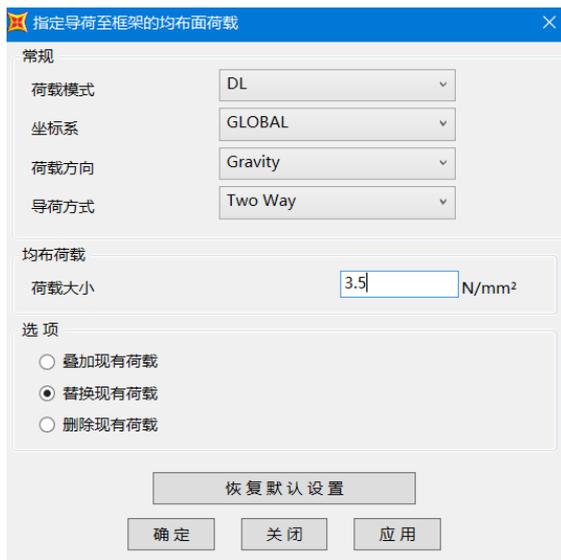


图 0-25 导荷至框架的均布面荷载

#### 5.4 施加线荷载和点荷载

为便于快速指定和修改各类荷载，建议将受荷相同的构件指定为同一个对象组。具体操作见本教程 3.3 节。

指定线荷载

命令路径：**【指定 > 框架荷载 > 分布荷载】**

指定点荷载

命令路径：**【指定 > 节点荷载 > 集中荷载】**

#### 5.5 反应谱工况

##### 反应谱函数

本案例抗震设防烈度为 6 度，设计基本地震动峰值加速度 0.05g，设计地震分组为第一组，场地类别为 III 类。参考《建筑抗震设计规范 GB 50011-2010》相关条文可知，多遇地震作用下的水平地震影响系数最大

值为 0.04，特征周期为 0.45s。

**命令路径：【定义>函数>反应谱函数】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中输入上述参数即可完成反应谱函数的定义，如图 5-6 所示。

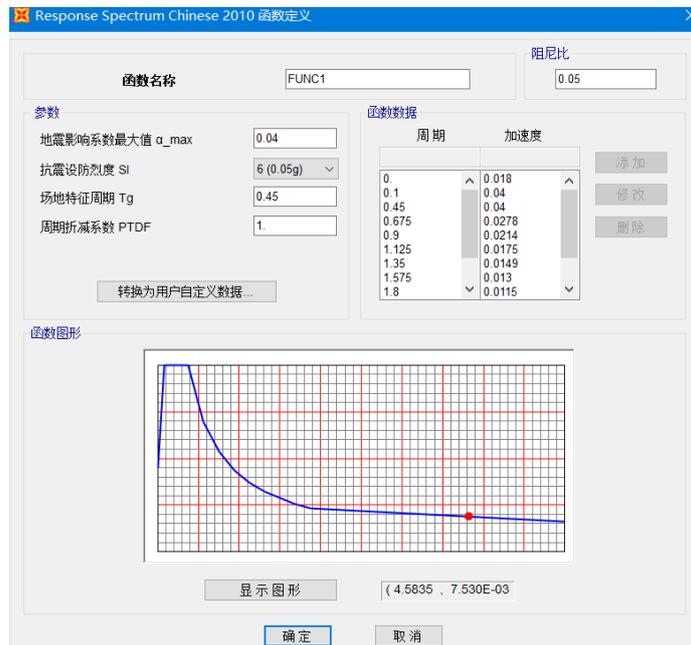


图 0-26 定义反应谱函数

### 反应谱工况

**命令路径：【定义>荷载工况>添加荷载工况】**

对于本案例的反应谱分析，模态组合采用 CQC 组合，方向组合采用 SRSS 组合。点击上述命令后，在弹出的对话框中设置选项或输入参数，如图 5-7 所示。

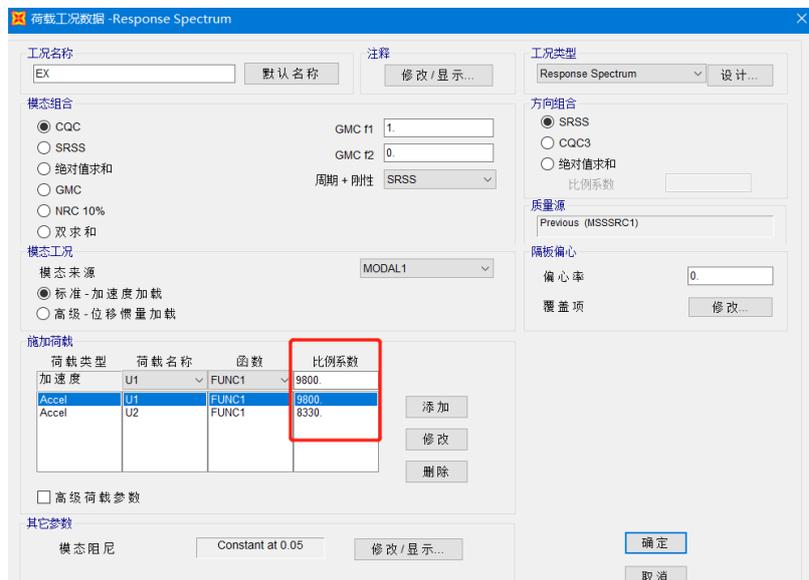


图 0-27 定义反应谱工况

需要注意的是，在反应谱工况的定义中，比例系数的数值与当前长度单位需要匹配。以图 5-7 为例，由于反应谱函数中输入的地震影响系数最大值为 0.04，故反应谱工况中的比例系数应为重力加速度  $g=9.8m/s^2$ 。如 SAP2000 当前长度单位为 m，用户需输入 9.8。

在本案例中，由于当前长度单位为 mm，用户应输入 9800，即  $9800 mm/s^2$ 。考虑到双向地震作用的 SRSS

组合，次方向的比例系数应调整为  $0.85 \times 9800 = 8330$ 。

### 5.6 定义荷载组合

**命令路径：【定义>荷载组合>添加默认设计组合】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中查看默认的选项和设置，SAP2000 将根据中国规范自动对恒、活、风、震进行荷载组合，如图 5-8 所示。

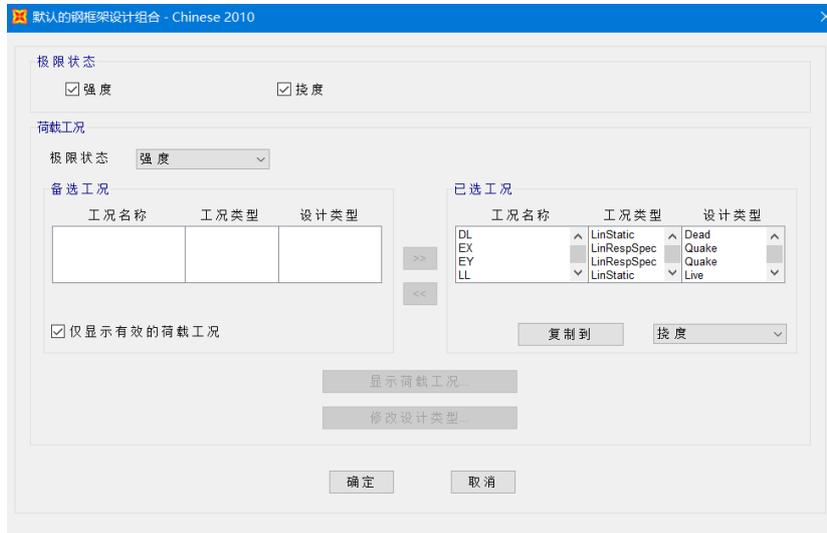


图 0-28 定义荷载组合

### 5.7 高支架的计算长度系数

由于高支架短跨方向存在 K 形支撑，钢柱在 K 形支撑位置处被打断，故钢柱在 K 形支撑平面外的计算长度是构件长度的两倍，用户应复核该构件的计算长度，如图 5-9 所示。

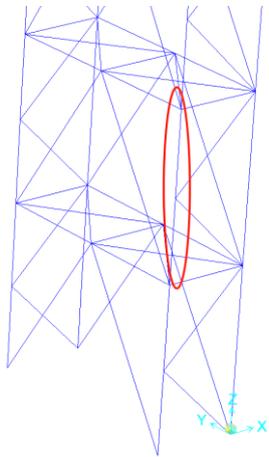
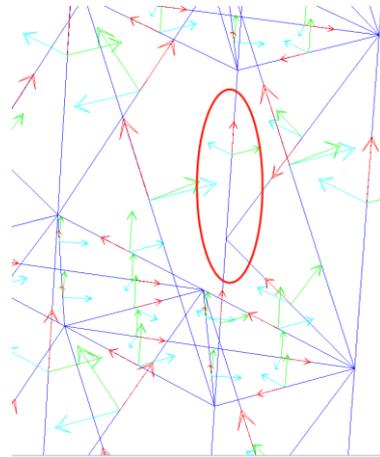


图 0-29 钢柱的计算长度图



0-30 杆件的局部坐标轴方向

在 SAP2000 中显示框架局部轴，如图 5-10 所示。可以看出，绕 2 轴方向的计算长度是绕 3 轴方向的计算长度的两倍。

**命令路径：【设计>钢框架设计>查看/修改覆盖项】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中修改构件绕次轴（即 2 轴）的计算长度系数，如图 5-11 所示。

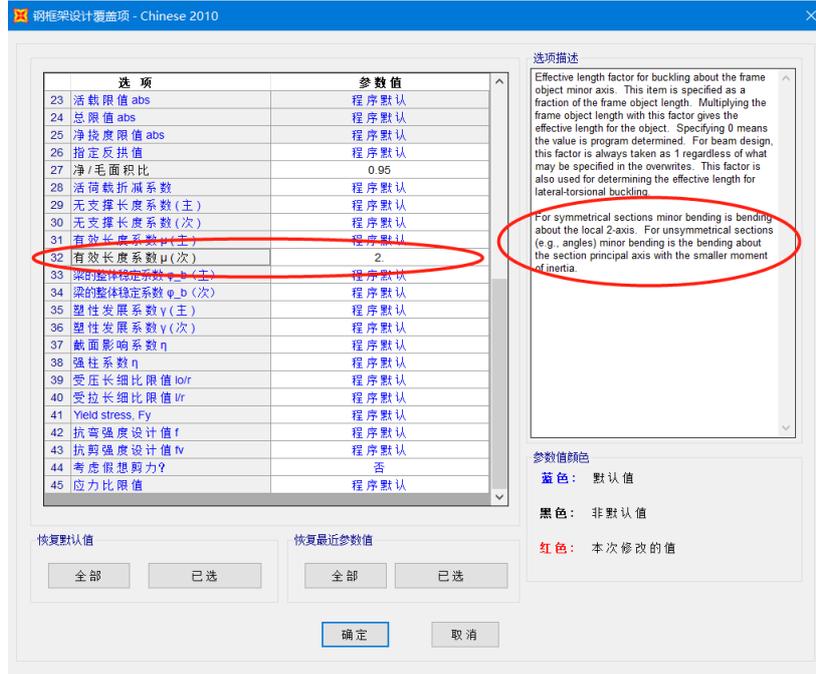


图 0-31 钢框架设计覆盖项

## 6 运行分析

命令路径：**【分析>设置运行工况】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中设置拟运行的工况，如图 6-1 所示。

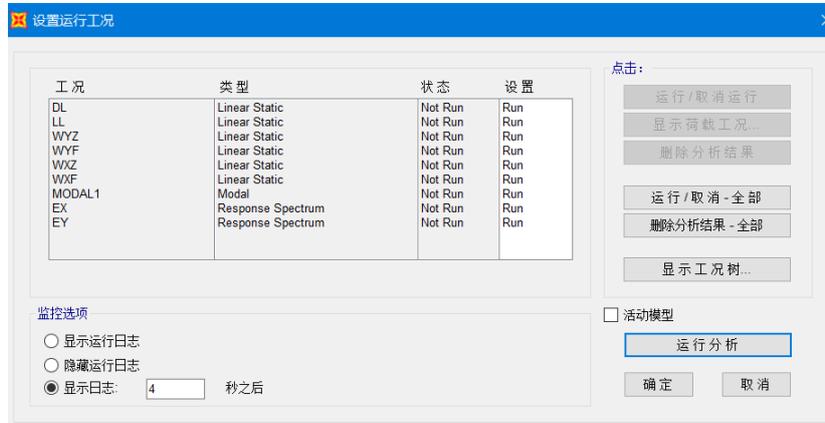


图 0-32 运行结构分析

## 7 查看结果

### 7.1 钢桁架挠度

命令路径：**【显示>变形图】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择荷载组合 1.0DL+1.0LL。在结构变形图中选择挠度最大的节点并查看具体位移值，如图 7-1 所示。

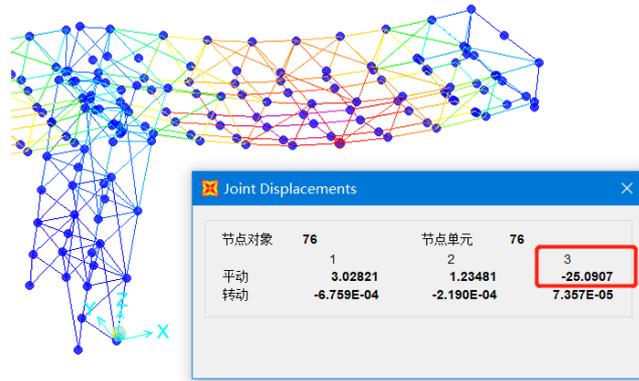


图 0-33 查看钢桁架挠度

在荷载组合 1.0DL+1.0LL 中，桁架挠度的最大值为 25.1mm。如果桁架悬挑段的桁架净跨度为 30.6m，则挠跨比为 1/1219，满足钢规的挠度校核要求

### 7.2 高支架侧移

对于高支架，用户需校核地震和风荷载作用下的结构侧移。

命令路径：**【显示>变形图】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择风荷载或地震作用工况。在结构变形图中选择挠度最大的节点并查看具体位移值，如图 7-2 和 7-3 所示。

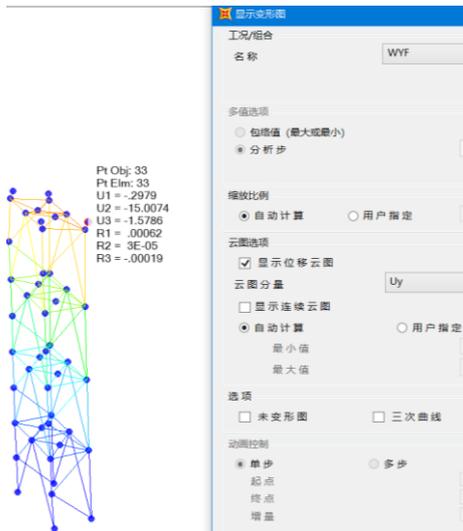


图 0-34 风荷载作用下高支架侧移

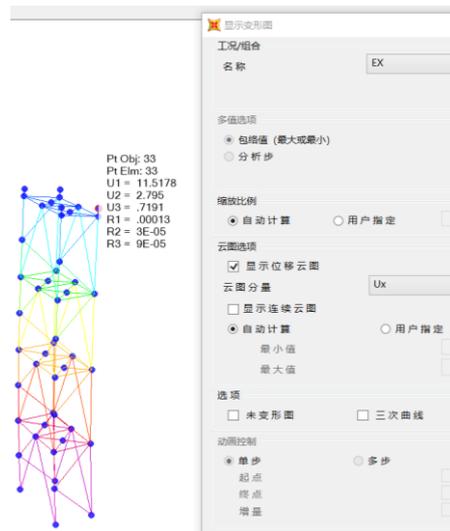


图 0-35 地震作用下高支架侧移

由图 7-2 和 7-3 可知，高支架顶点的最大侧移分别为 15mm、11.5mm。钢支架高 24m，故位移角分别为 1/1600、1/2086，两者均小于 1/550，满足设计要求。

### 7.3 单向滑动支座位移

钢桁架单向滑动支座的位移应满足支座位移限值的要求。

**命令路径：【显示>变形图】**

点击上述命令后，在弹出的对话框中选择荷载组合 1.0DL+1.0LL。在结构变形图中选择挠度最大的节点并查看具体位移值，如图 7-4 所示。

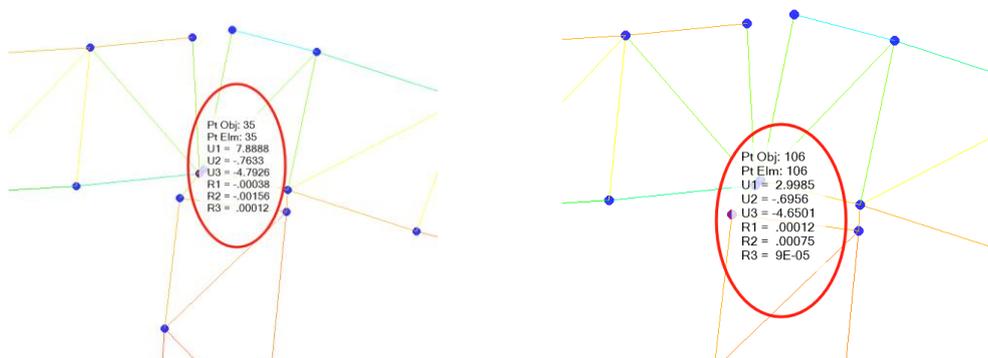


图 0-36 单向滑动支座位移

由图 7-4 可知，单向滑动支座的相对位移为  $7.889-2.999=4.89\text{mm}$ ，小于滑动支座的位移限值  $50\text{mm}$ 。

### 7.4 钢结构应力比

**命令路径：【设计>钢框架设计>显示设计信息】**

点击上述命令后，在设计输出对话框中选择【P-M Ratio Colors&Values】显示全部杆件的应力比，如图 7-5 所示。

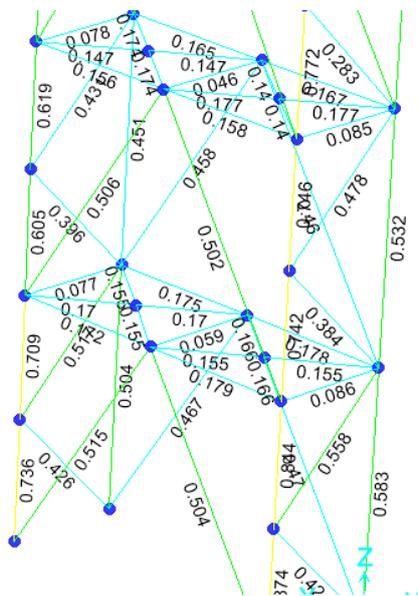


图 0-37 钢结构应力比