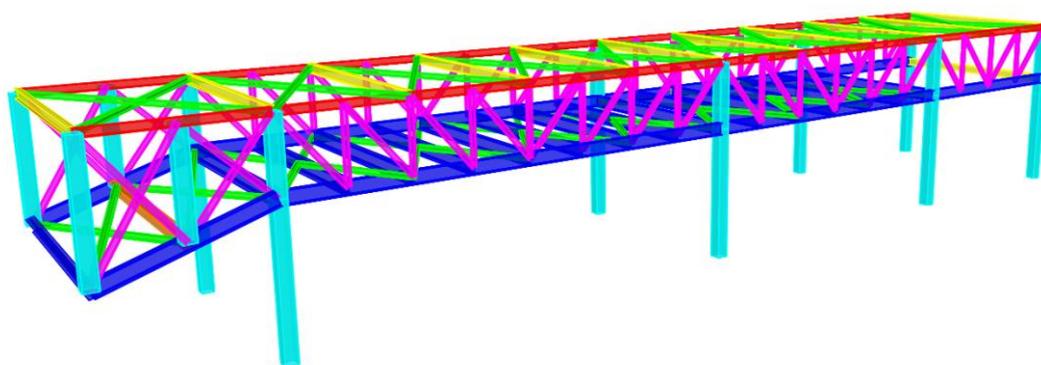


SAP2000 案例教程

钢结构连廊



北京筑信达工程咨询有限公司

2022 年 3 月

版 权

SAP2000 软件及全部相关文档均为受专利法和版权法保护的产品，全球范围内的所有权归美国 CSI（Computers and Structures Inc.）公司所有，中文版版权同属于北京筑信达工程咨询有限公司。如未预先取得 CSI 或筑信达公司的书面许可，任何形式的软件应用及文档传播一律禁止！

更多信息及本文档副本可通过以下途径获得：

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：86-10-68924600

传真：86-10-68924600-8

电子邮件：support@cisec.cn

在线支持：support.cisec.cn

网址：www.cisec.cn

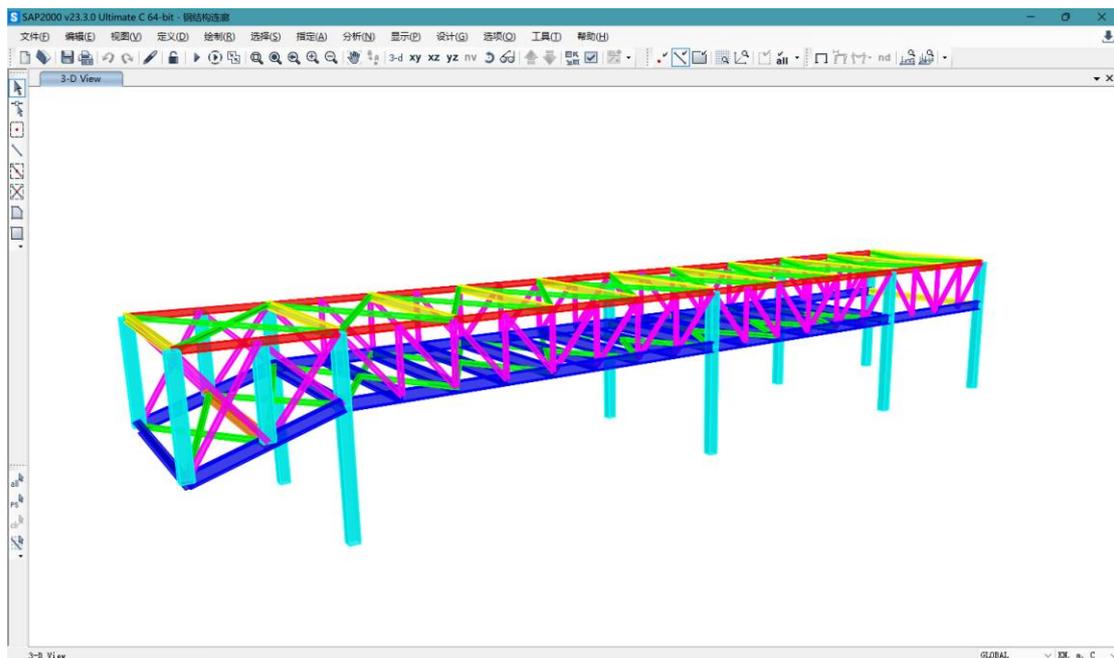
目录

1 模型概况	1
2 几何建模	3
2.1 绘制轴网线	3
2.2 定义材料与截面	4
2.3 绘制框架	4
2.4 绘制虚面	6
3 属性指定	7
3.1 指定框架局部轴	7
3.2 指定端部释放	7
3.3 指定支座条件	8
4 施加荷载	9
4.1 恒荷载	9
4.2 活荷载	11
4.3 风荷载	12
4.4 地震作用	13
4.5 定义荷载组合	13
5 分析结果查看	14
5.1 振型和周期	14
5.2 支座反力	15
5.3 构件内力	15
6 构件设计	16
6.1 设计参数	16
6.2 结构应力比	17
6.3 构件交互式设计	18

钢结构连廊

本教程主要以书面文字的形式配合线上操作视频，帮助读者在 SAP2000 v23.3.0 中为钢结构连廊创建几何模型、指定对象属性、施加结构荷载、完成结构分析设计以及查看计算结果。在具体操作过程中，读者应熟悉并掌握 SAP2000 软件的诸多功能，如：几何建模技巧、指定框架局部轴和导荷选项、指定导荷至框架的均布面荷载、钢结构设计等。

根据本教程及配套视频完成操作，即可创建如下图所示模型。



钢结构连廊模型

1 模型概况

本模型为桁架式钢结构连廊，由立柱、纵梁、横梁、腹杆以及水平支撑组成。X 方向 3 跨，跨度分别为 20m、15m、10m；Y 方向 1 跨，跨度为 9.5m；悬挑部分长度 6m。下弦平面悬挑部分横梁节间长度为 3m，柱间横梁节间长度为 2.5m；上弦平面柱间横梁节间长度为 5m。下弦平面标高为 6m，上弦平面标高为 9m，悬挑部分最边缘横梁标高为 4m。

如图 1.1-1.3 所示分别为上弦平面、下弦平面和立面的结构布局图。

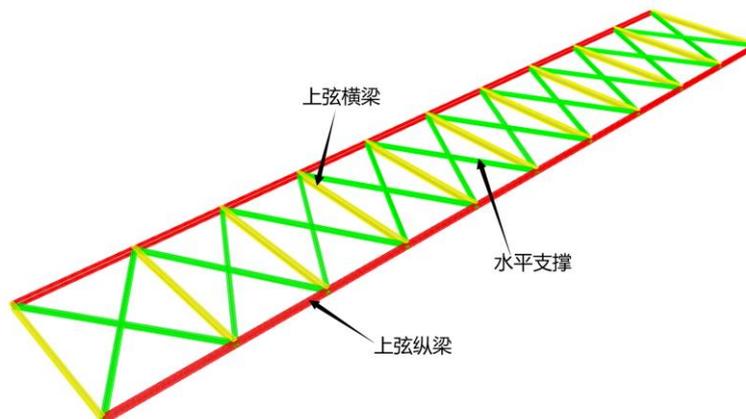


图 1.1 上弦平面结构布局图

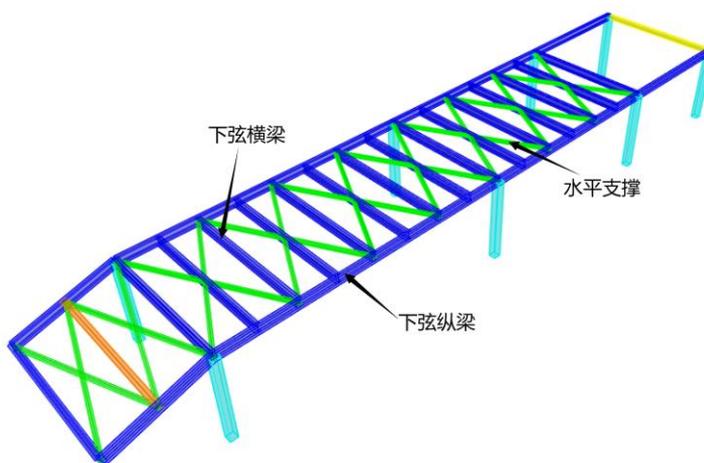


图 1.2 下弦平面结构布局图

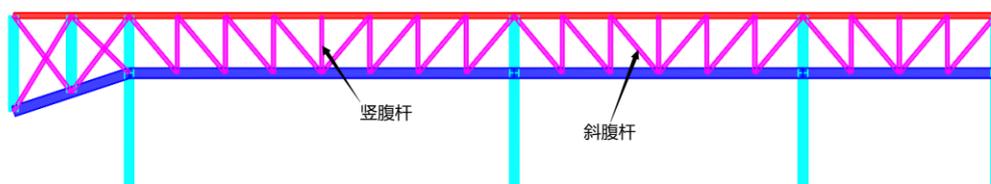


图 1.3 结构立面布局图

该模型中材料属性均为 Q355，截面属性均为框架截面。其中，柱截面类型为方管，其余构件的截面类型为工字形。

构件的截面属性如表 1.1 所示。

表 1.1 构件截面属性（单位：mm）

构件名称	截面名称	高度	宽度	厚度	
立柱	C500X500X16X16	500	500	16	
构件名称	截面名称	总高度	上/下翼缘宽度	上/下翼缘厚度	腹板厚度
下弦纵梁&下弦横梁	H550X300X12X18	550	300	18	12
A-B 轴之间下弦横梁	H550X350X12X25	550	350	25	12
上弦横梁&K 轴下弦横梁	H400X200X8X12	400	200	12	8
上弦纵梁	H300X200X8X12	300	200	12	8
水平支撑	H200X200X8X12	200	200	12	8
腹杆	H200X150X8X12	200	150	12	8

除此之外，该模型的荷载条件如下：

- 结构自重
- 恒荷载
 - 上弦（屋面）：0.3 kN/m²
 - 下弦（压型钢板）：1 kN/m²
 - 上立柱和竖腹杆（墙体）：1.7kN/m²
- 活荷载
 - 上弦（屋面）：0.5 kN/m²
 - 下弦（压型钢板）：7 kN/m²
- 风荷载
 - 墙体：迎风面风压力 0.5 kN/m²，背风面风吸力 0.3kN/m²
 - 屋面板和楼面板：风吸力 0.2 kN/m²
- 地震作用：抗震设防烈度 7 度，阻尼比 0.04

2 几何建模

2.1 绘制轴网线

SAP2000 中的轴网线是辅助几何建模的重要工具，合理的轴网布置有助于快速准确地绘制几何模型。本案例建立矩形轴网，轴网数据如下：X 向轴网数量为 11，A-B 轴间距为 6m，其余为 5m；Y 向轴网数量为 2，间距为 9.5m。Z 向轴网数量为 3，间距分别为 6m 和 3m。轴网数据如图 2.1 所示。建立完成的轴网线如图 2.2 所示。

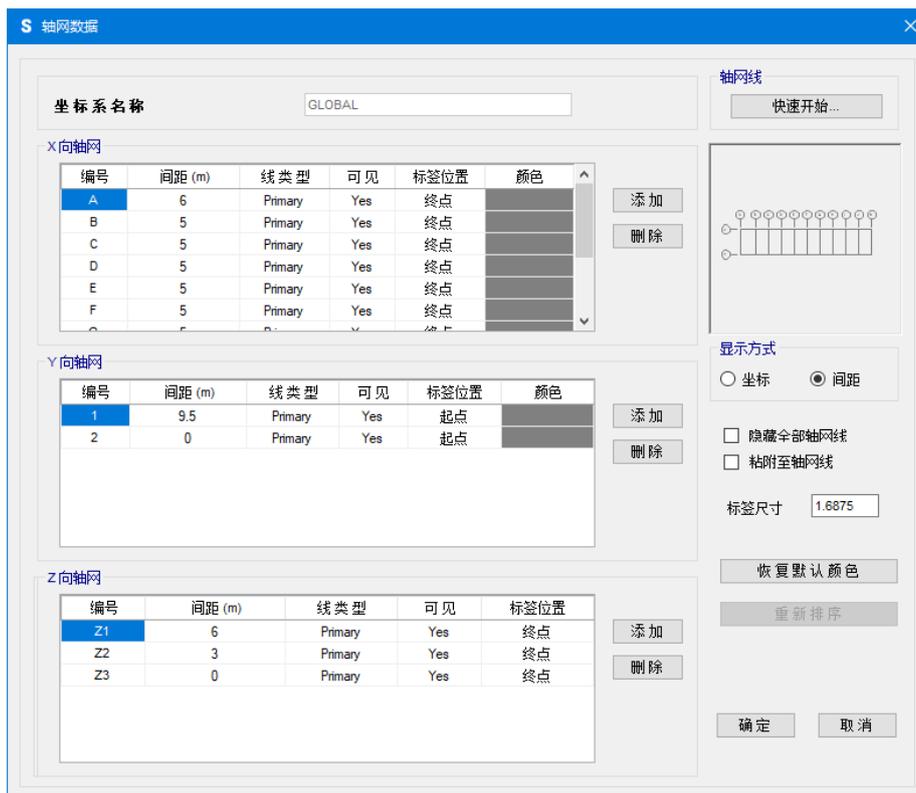


图 2.1 轴网数据

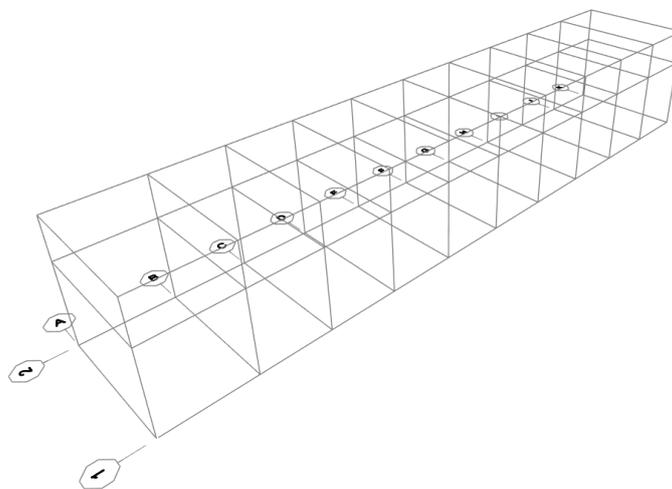


图 2.2 显示轴网线

2.2 定义材料与截面

程序默认的材料列表中已经添加了 Q355，无需用户再自定义。定义框架截面属性的具体操作见本教程配套视频，此处不再赘述。

2.3 绘制框架

根据该模型的空间几何特点，建议先绘制 X-Z 立面中的框架对象，然后利用带属性复制和拉伸功能创建整体模型。

1. 绘制 X-Z 平面构件

将视图切换到 X-Z@Y=0 平面。首先，在 B、F、I、K 轴绘制立柱。然后，在上、下弦位置分别绘制纵梁。最后绘制腹杆：（1）竖腹杆可以通过节点拉伸和复制的方式绘制。首先在没有立柱的位置绘制特殊节点，然后通过节点拉伸生成竖腹杆，最后复制生成其余竖腹杆；（2）斜腹杆可以通过直接绘制框架并结合带属性复制（镜像复制）的方式生成。绘制完 Y=0 立面的框架对象后，再复制生成 Y=9.5 的框架对象。绘制完成后如图 2.3 所示。

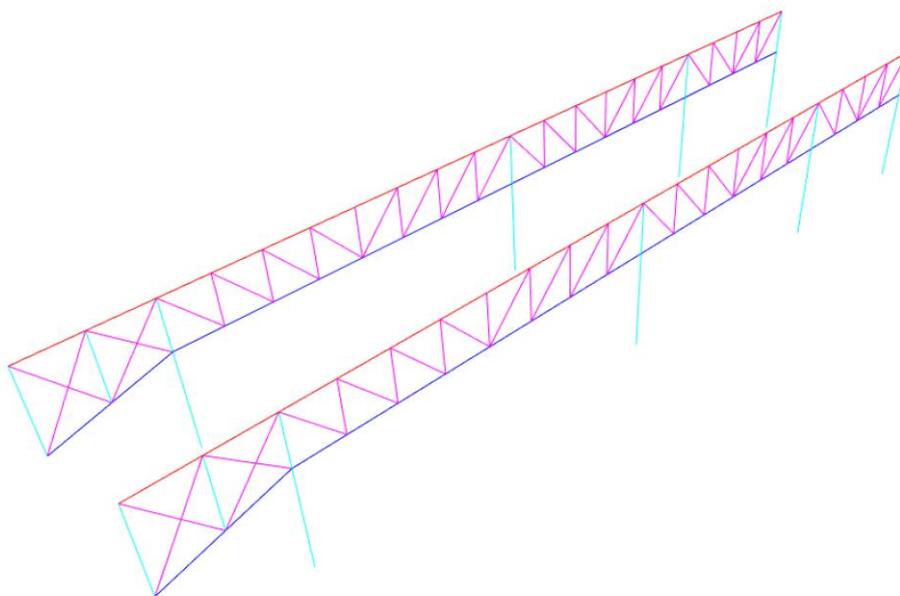


图 2.3 X-Z 平面构件

2. 绘制 X-Y 平面构件

将视图切换到 X-Y 平面，分别在 Z=6m 和 Z=9m 绘制构件。横梁通过节点拉伸的方式绘制。水平支撑通过快速绘制支撑的方式绘制，其中 A-B 轴之间的水平支撑需要切换到 3D 视图并通过绘制框架命令单独绘制。绘制完成如图 2.4 所示。

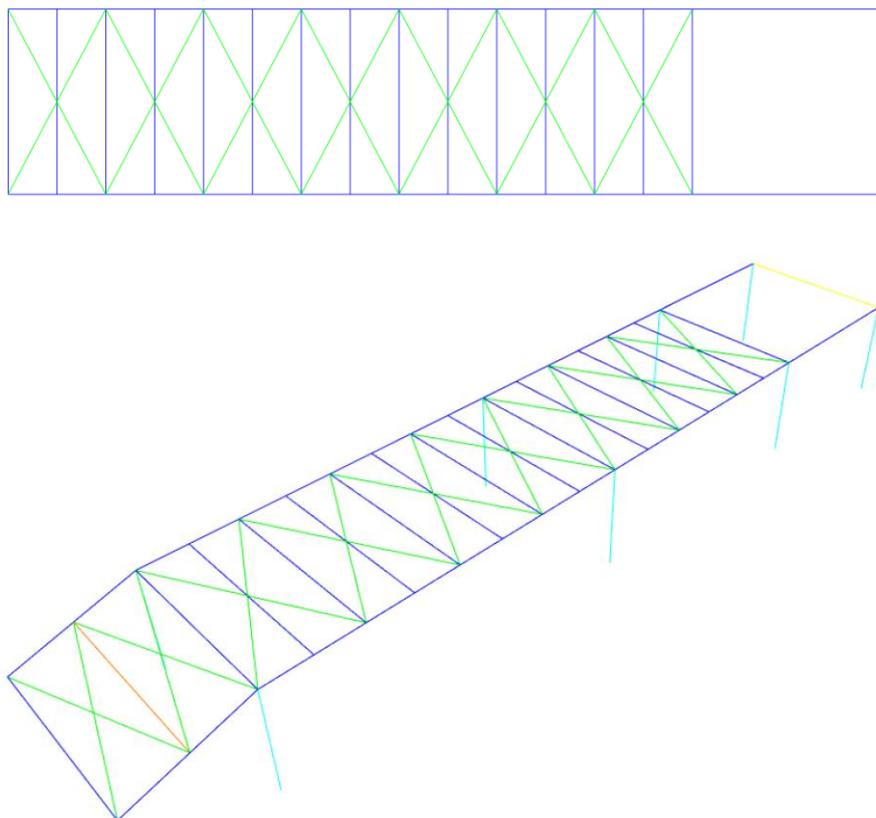


图 2.4 上、下弦平面构件

3. 调整构件标高

由于该模型下弦悬挑部分是倾斜向下的，所以需要调整下弦构件的标高（A 轴横梁标高为 4m），可以通过移动节点的方式实现。其中，A 轴两个节点沿 Z 负方向移动 2m，A-B 轴中间横梁两个节点沿 Z 负向移动 1m，如图 2.5 所示。

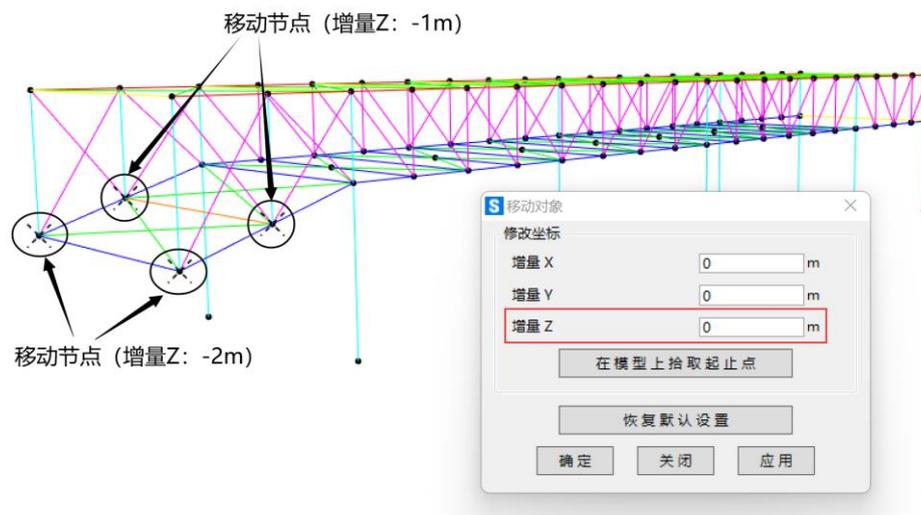


图 2.5 调整悬挑部分杆件的标高

2.4 绘制虚面

由于后续需要在屋面、楼面和侧墙上施加荷载至框架的均布面荷载，所以需要创建虚面。这些面的作用仅是用来传递荷载，因此采用无质量、无刚度的虚面来模拟。绘制面的方式有很多种，可以直接绘制，也可以线拉伸成面的方式生成，用户可以灵活选择。

3 属性指定

3.1 指定框架局部轴

通过在拉伸视图下查看框架（主要针对 H 型钢）的摆放角度，发现悬挑部分下弦横梁和纵梁的搭接与实际情况不相符，所以需要旋转横梁调整搭接角度。可以通过指定框架局部轴的方式进行调整，输入绕局部 1 轴（沿框架对象轴向）的旋转角度为 $-\text{atan}(1/3)$ ，如图 3.1 所示。

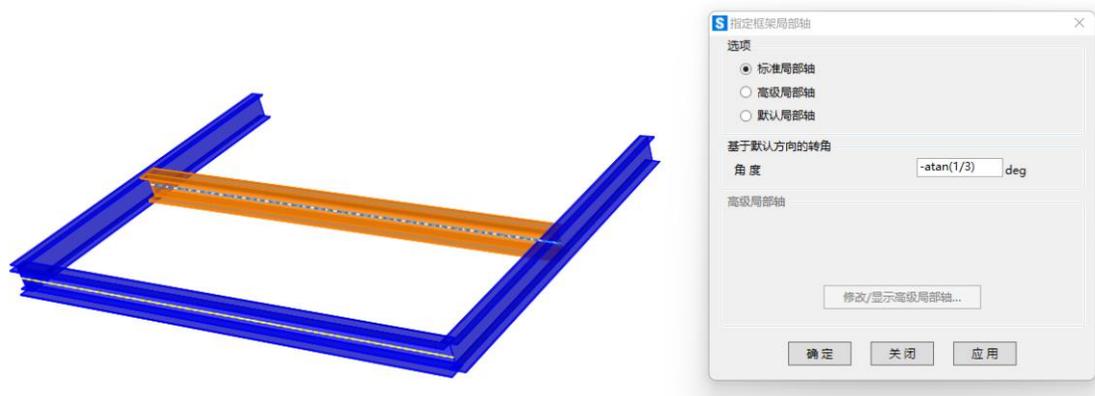


图 3.1 指定框架局部轴

3.2 指定端部释放

为了模拟构件两端的铰接，需要对其指定端部释放，建议释放两端的弯矩 M22、M33 和一端扭矩 T，如图 3.2 所示。本模型需要对腹杆、非柱上横梁以及水平支撑指定端部释放。事实上，在绘制框架对象并选择 Pinned（铰接）时，SAP2000 内部采用同样的方式进行模拟。通过快速绘制支撑命令绘制的水平支撑实际上已经被指定了端部释放，重复指定不会有任何影响。需要注意的是，下弦平面的水平支撑需要在中间打断后重新指定端部释放。显示框架端部释放如图 3.3 所示。

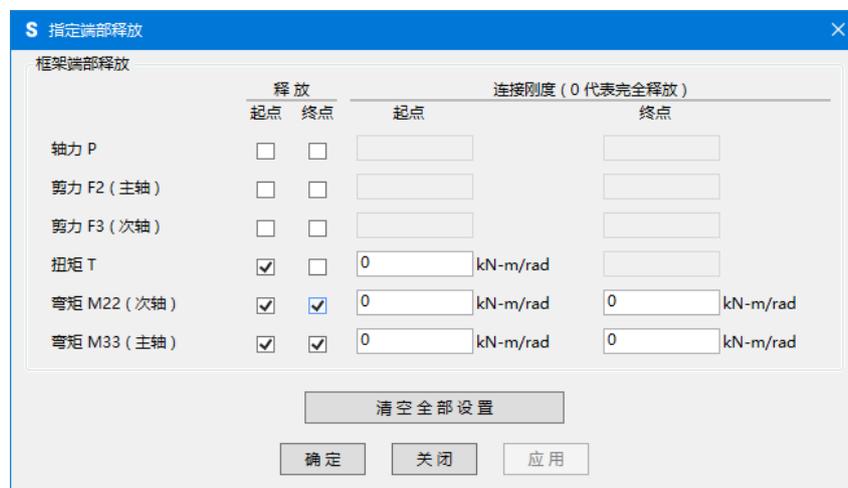


图 3.2 指定端部释放

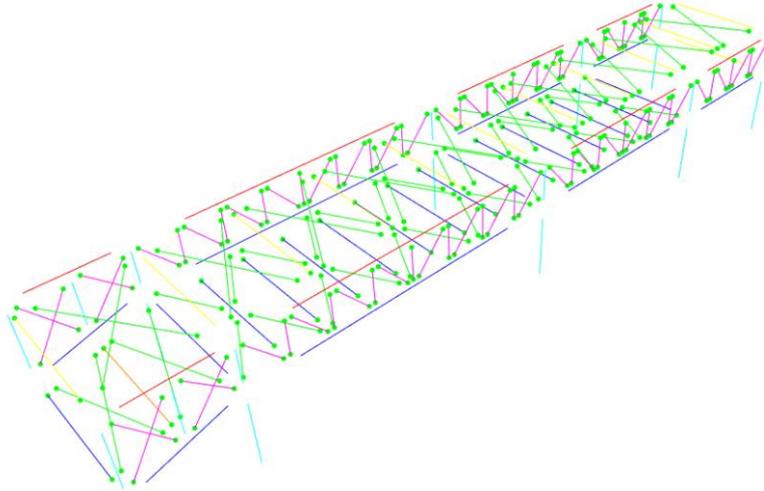


图 3.3 显示框架端部释放

3.3 指定支座条件

选择全部立柱的柱脚节点并指定固定支座，约束全部六个自由度，如图 3.4 所示。



图 3.4 指定支座条件

4 施加荷载

程序默认存在名称为 DEAD 的恒荷载模式，其自重乘数为 1，用于自动考虑结构自重。补充定义活荷载模式 LIVE、风荷载模式 WINDY+和 WINDY-，以及 X 方向地震荷载模式 EQ-X 和 Y 方向地震荷载模式 EQ-Y，共计 6 个荷载模式，如图 4.1 所示。其中，抗震计算采用基于中国抗震规范的底部剪力法。

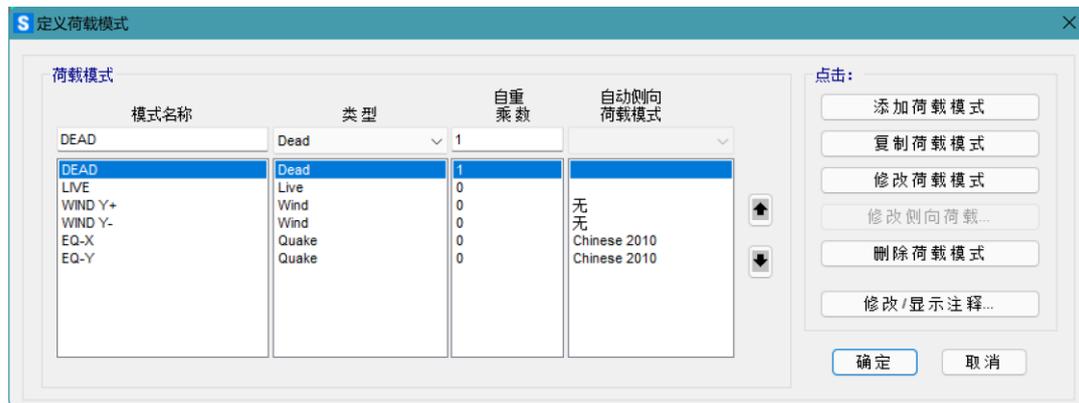


图 4.1 定义荷载模式

4.1 恒荷载

恒荷载除结构自重外，还需要考虑屋面恒荷载、楼面恒荷载以及墙体自重转换到竖腹杆和上立柱的线荷载。其中，屋面和楼面的恒荷载以“虚面+导荷至框架的均布面荷载”的方式施加，导荷方式为单向导荷；线荷载以指定框架均布荷载的方式施加。

关于施加导荷至框架的均布面荷载，还需要注意以下两点：

- 默认情况下，对对象指定导荷至框架的均布面荷载时，面对象周边及内部的框架对象均允许面荷载导荷。本案例仅考虑面荷载导荷至横梁，而不导荷至水平支撑。可以通过对水平支撑指定导荷选项的方式实现。如图 4.2 所示，取消“均布面荷载导荷至框架”的选项。

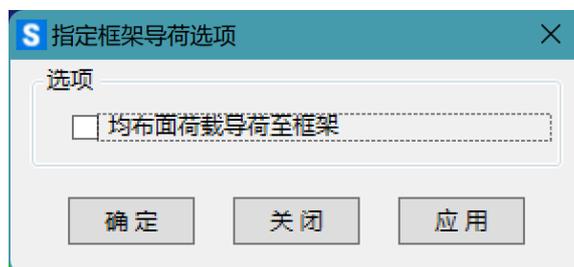


图 4.2 指定框架导荷选项

- 通过查看恒荷载导荷结果，发现悬挑部分下弦斜面，面荷载导荷的方向与实际不符，面荷载导荷至纵梁而非横梁上，这是因为单向导荷时面荷载传递至与面局部 1 轴相交的框架对象，所以需要修改面局部 1 轴方向。调整的方式为指定面对象的局部轴，其中基于“标准局部轴”方向的转角修改为 90°，如图 4.3 所示。

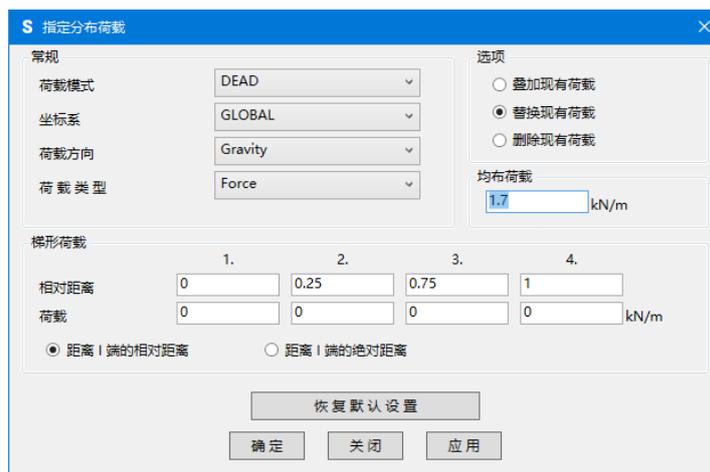


图 4.5 指定框架均布荷载

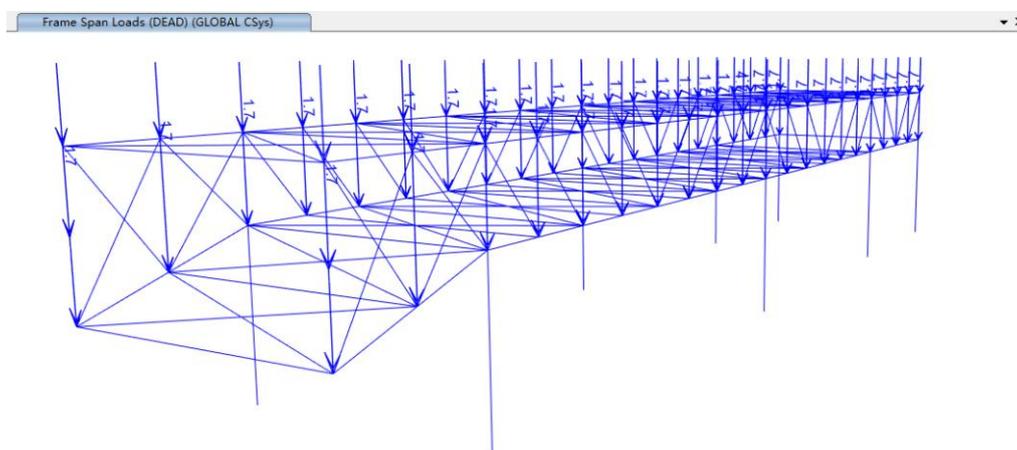


图 4.6 显示框架均布荷载 (DEAD)

4.2 活荷载

活荷载包括屋面活荷载和楼面活荷载，同样以“虚面+导荷至框架的均布面荷载”的方式施加，导荷方式为单向导荷。由于前面已经修改了水平支撑的导荷选项和悬挑部分下弦斜面的局部 1 轴方向，此处不需要再进行修改。查看活荷载导荷后的结果如图 4.7 所示。

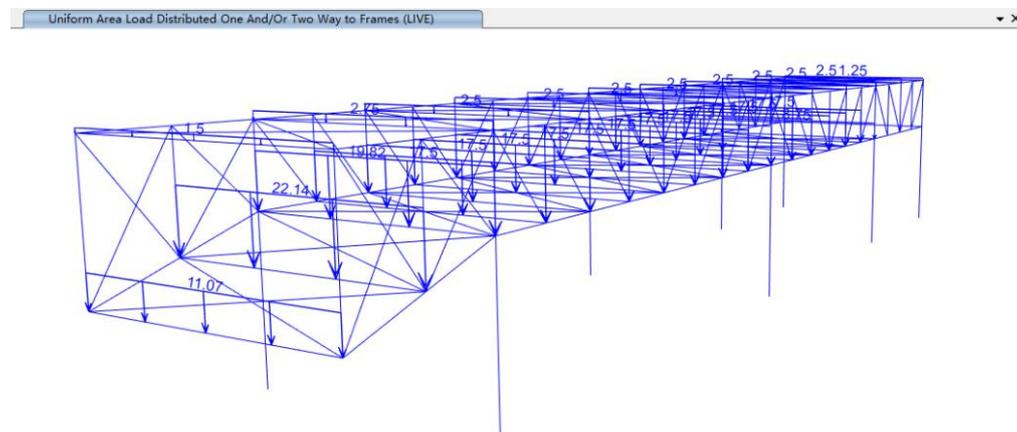


图 4.7 显示面对象导荷结果 (LIVE)

4.3 风荷载

风荷载的作用面包括屋面板、楼面板以及两侧墙体。风荷载以“虚面+导荷至框架的均布面荷载”的方式施加，导荷方式为单向导荷。其中对于屋面板和楼面板，风荷载导荷至横梁上；对于两侧墙体，风荷载导荷至竖腹杆和上立柱上。

表 4.1 中列出了各个面施加风荷载的方向和大小。需要注意的是，均布面荷载的正负号同时取决于实际风的作用方向和程序中填写的荷载方向。具体操作见本教程配套视频，此处不再赘述。

表 4.1 导荷至框架的均布面荷载（风荷载）

荷载模式	作用面	荷载方向	均布荷载大小（单位：kN/m ² ）
WIND Y+	迎风面墙体	Y	0.5
	背风面墙体	Y	0.3
	屋面板	Z	0.2
	楼面板	Z	-0.2
WIND Y-	迎风面墙体	Y	-0.5
	背风面墙体	Y	-0.3
	屋面板	Z	0.2
	楼面板	Z	-0.2

另外，关于施加风荷载，还需要注意以下两点：

- 作用在悬挑部分下弦斜面的风荷载，实际作用方向为沿面局部 3 轴，而不是全局 Z 轴，本案例做了简化，没有对此进行修改；如果用户需要按照实际的作用方向施加风荷载，可以在指定荷载时将坐标系修改为 Local（局部坐标系），荷载方向为 3，此处不作演示。
- 由于不考虑作用在墙面的风荷载导荷至斜腹杆，需要取消斜腹杆的导荷选项。查看最终风荷载的导荷结果如图 4.8 和图 4.9 所示。

Uniform Area Load Distributed One And/Or Two Way to Frames (WIND Y+)

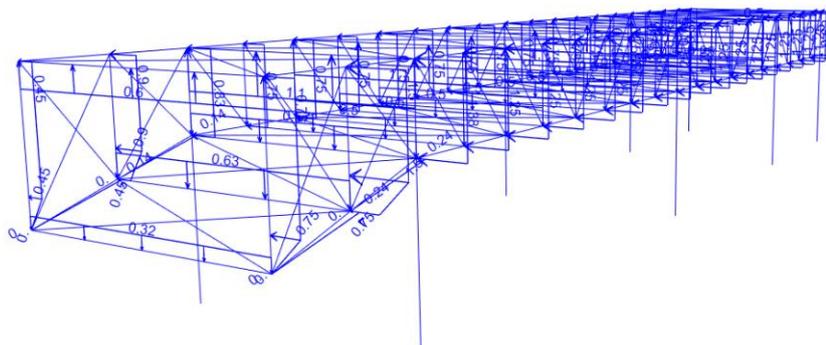


图 4.8 显示面对象的导荷结果 (WIND Y+)

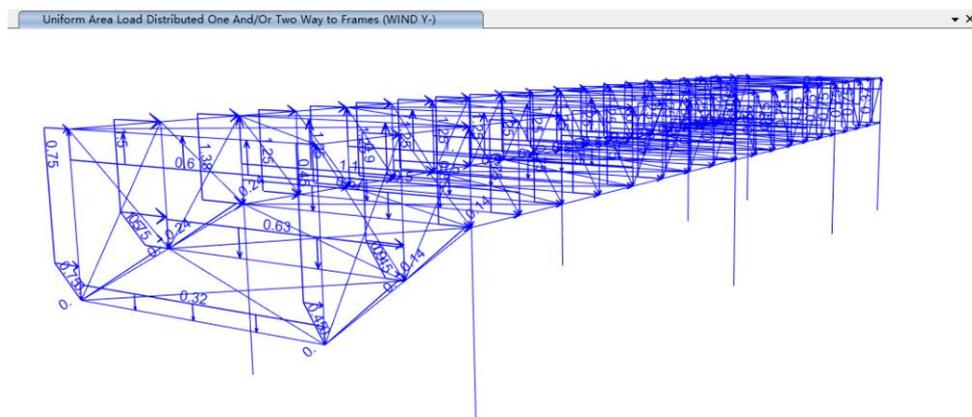


图 4.9 显示面对象的导荷结果 (WIND Y-)

4.4 地震作用

本案例通过底部剪力法计算地震作用，即通过 SAP2000 中的自动地震荷载考虑。主要包含两个方面的操作，一是修改自动地震荷载参数，二是定义质量源。质量源默认采用“单元质量和附加质量”来计算，但对于该模型，屋面板、楼面板和墙体的自重都是以荷载的方式施加到结构上，虽然分析时不考虑它们的刚度，但是它们的自重产生的质量对结构的周期是有影响的。质量源的定义对应中国规范中的重力荷载代表值，考虑 1 倍的恒载和 0.5 倍的活载。

具体操作见本教程配套视频，此处不再赘述。

4.5 定义荷载组合

选择添加默认设计组合，SAP2000 将根据中国规范自动对恒、活、风、震进行荷载组合。需要注意，由于沿 Y 正、负方向的风荷载已经通过荷载模式/荷载工况加以区分，需要删除自动生成的荷载组合中包含反向 (-) 风荷载的组合，可以通过交互式数据库编辑进行批量删除。具体操作见本教程配套视频，此处不再赘述。

5 分析结果查看

5.1 振型和周期

显示结构振型图，如图 5.1 所示。视图标题栏显示对应振型的周期和频率，通过查看位移响应的动画可以直观地判断结构每一振型的自振情况。

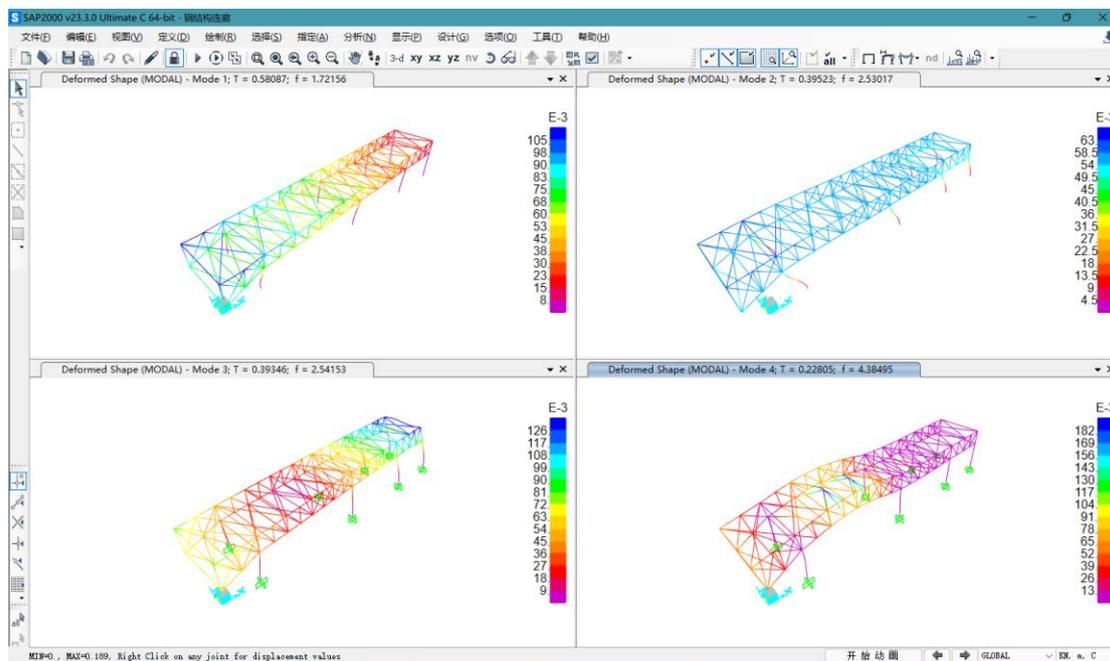


图 5.1 结构振型图

显示表格查看 X 向和 Y 向的累积质量参与系数是否达到 90%，如图 5.2 所示。

Modal Participating Mass Ratios

单位: 见注释

过滤器:

	OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless	SumUX Unitless	SumUY Unitless	SumUZ Unitless
▶	MODAL	Mode	1	0.580867	0	0.83646	8.526E-19	0	0.83646	8.526E-19
	MODAL	Mode	2	0.39523	0.99708	9.958E-19	7.182E-06	0.99708	0.83646	7.182E-06
	MODAL	Mode	3	0.393463	0	0.13822	7.039E-18	0.99708	0.97468	7.182E-06
	MODAL	Mode	4	0.228053	0.00115	3.638E-16	0.14372	0.99823	0.97468	0.14373
	MODAL	Mode	5	0.191424	1.466E-05	2.29E-18	0.13736	0.99825	0.97468	0.28109
	MODAL	Mode	6	0.187106	9.427E-19	9.239E-05	2.223E-16	0.99825	0.97477	0.28109
	MODAL	Mode	7	0.183571	0.00013	1.287E-19	0.00138	0.99838	0.97477	0.28248
	MODAL	Mode	8	0.181302	5.631E-05	4.084E-17	0.00144	0.99843	0.97477	0.28391
	MODAL	Mode	9	0.181006	9.471E-07	3.902E-18	0.02046	0.99843	0.97477	0.30438
	MODAL	Mode	10	0.180719	2.338E-05	3.962E-19	0.00374	0.99846	0.97477	0.30812
	MODAL	Mode	11	0.180631	6.505E-06	3.509E-18	0.00519	0.99846	0.97477	0.3133
	MODAL	Mode	12	0.163934	2.219E-17	0.00218	1.048E-16	0.99846	0.97696	0.3133

切换 << < 1 > >> / 12 添加表格... 完成

图 5.2 模态质量参与系数

5.2 支座反力

可以以箭头或表格的显示方式查看各个工况和组合下的支座反力，也可以通过表格查看。如图 5.3 所示为 X 方向地震作用下的支座反力表格显示结果。

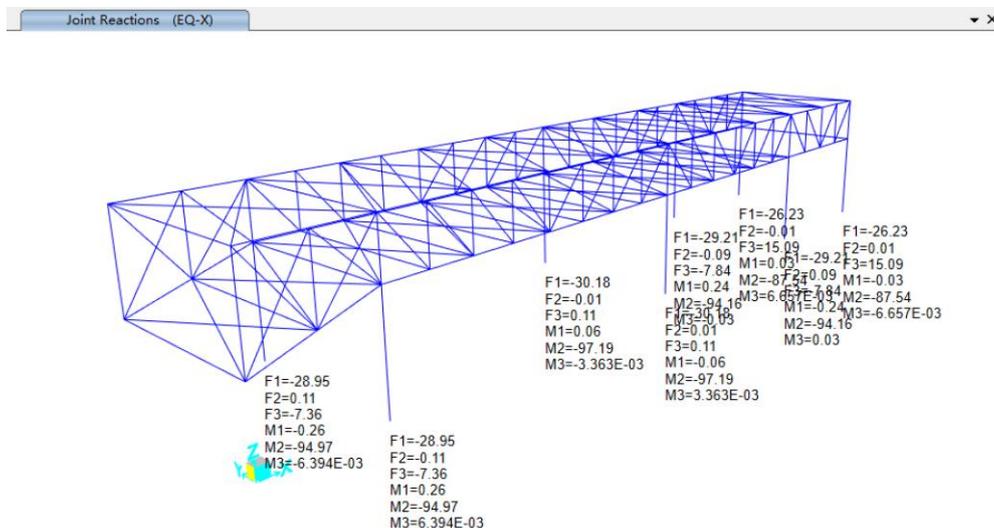


图 5.3 支座反力（表格显示）

5.3 构件内力

在结构内力图中选择任意构件单击鼠标右键即显示隔离体图。构件隔离体图除显示作用于构件的等效荷载和构件内力外，也可以显示构件挠曲线，如图 5.4 所示。除此之外，用户也可以以数据表格的方式输出节点位移，然后通过排序快速查看和定位最大值。

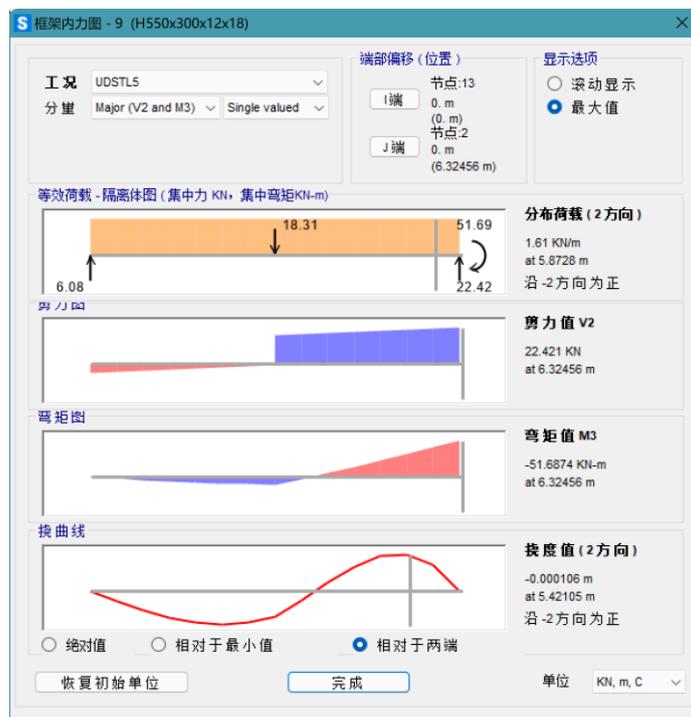


图 5-3 构件隔离体图

6 构件设计

6.1 设计参数

1. 设计首选项

本案例采用一阶分析法（Limited 1st Order）完成结构设计，设计首选项的参数设置如图 6.1 所示。



图 6.1 设计首选项

2. 设计覆盖项

程序进行构件设计时，自动根据构件的空间位置判断构件类型，水平构件为梁，竖直构件为柱，倾斜构件为支撑。更详尽的内容请参考知识库文档《[钢框架设计中杆件设计类型解析](#)》。但是对于一些构件，程序判断有误，需要通过设计覆盖项进行调整，本案例需要调整的构件如下：

- 竖向腹杆：程序判断其构件类型为“柱 Column”，需要修改为“支撑 Brace”；设计时仅考虑轴力来进行强度和稳定性验算，并且长细比和宽厚比校核按照支撑考虑。
- 悬挑部分下弦纵梁：程序判断其构件类型为“支撑 Brace”，需要修改为“梁 Beam”；否则构件的宽厚比将根据“钢结构中心支撑板件宽厚比限值”进行校核，并非按照梁进行校核。

6.3 构件交互式设计

SAP2000 的钢结构设计可以是一个交互式的过程，工程师可以随时参与到设计过程中来，也可以对钢结构设计过程中涉及的很多参数进行查看或修改。

选择任意构件单击鼠标右键，显示所选构件的设计信息，列表中给出所有设计组合下各个测站对应的应力比数值，高亮显示的为控制组合，如图 6.4 所示。用户可以通过覆盖项对钢框架进行交互式设计，修改覆盖项后，构件将立即按照新的参数重新设计。查看所选构件详细的设计结果，如图 6.5 所示。更详尽的内容请参考知识库文档《[钢框架设计细节输出详解（梁）](#)》及《[钢框架设计细节输出详解（柱）](#)》。

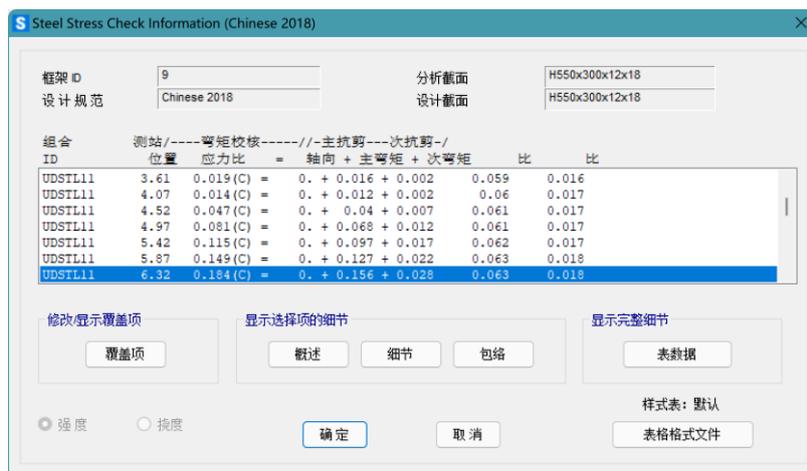


图 6.4 构件交互式设计

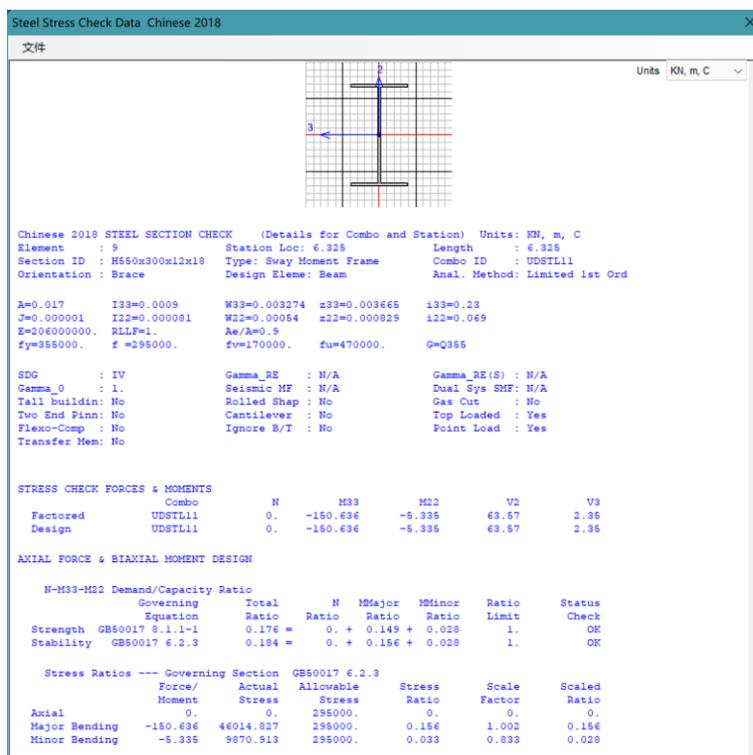


图 6.5 构件详细信息