



RFEM 6

大跨空间结构 整体稳定分析指南

Large Span Spatial Structures
Overall Stability Analysis Guide

培训手册

Training Manual

Version

2022.2

目录

一、 整体稳定分析的意义和难点.....	- 3 -
二、 线性特征值屈曲分析.....	- 4 -
1. 激活“稳定分析”模块.....	- 4 -
2. 参数设置.....	- 5 -
3. 结果查看-最小临界荷载及对应工况.....	- 9 -
三、 几何非线性全过程分析.....	- 10 -
1. 参数设置.....	- 10 -
2. 结果查看-最小临界荷载系数及对应工况.....	- 13 -
3. 结果查看-荷载位移曲线.....	- 14 -
4. 结果查看-全过程图形结果.....	- 14 -
四、 几何和材料非线性全过程分析.....	- 15 -
1. 激活“材料非线性”模块.....	- 15 -
2. 结果查看-最小临界荷载系数及对应工况.....	- 17 -
3. 结果查看-塑性发展区域.....	- 18 -
五、 缺陷的引入.....	- 19 -
1. 按照屈曲模态定义缺陷.....	- 19 -
2. 在设计状况中考虑缺陷.....	- 21 -

一、整体稳定分析的意义和难点

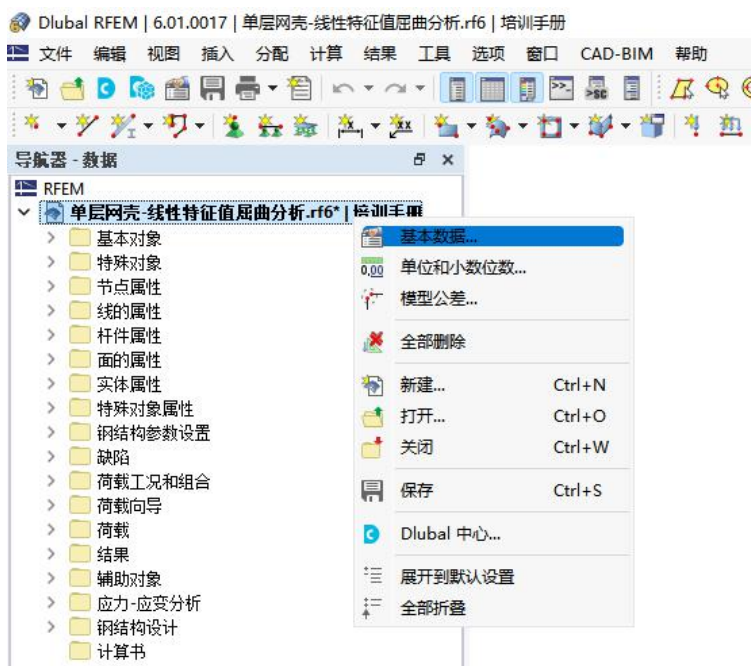
我们知道在钢构件验算时，需要腹板和翼缘的稳定性，保证板件的高厚比或宽厚比在一定限值范围内，这叫局部稳定验算；杆件是由腹板和翼缘组成的，即使腹板和翼缘不会局部失稳，如果杆件轴压较大，或者长细比较大，还容易出现杆件层面的稳定问题，因此还需要进行杆件稳定验算；结构是由杆件组成的，对于某些结构（比如单层网壳）宏观上结构内部存在较大轴压力，即使我们保证了杆件层面稳定，也不能保证整体层面稳定。这如同局部稳定和杆件稳定的关系。对于结构而言杆件就是局部的。因此这类结构需要进行整体稳定验算，而那些宏观来看主要是抗弯的空间结构（比如平板网架）则无需进行整体稳定验算，保证杆件稳定就可以了。

在对整体结构进行稳定分析时，**第一个难点**就是选择哪个组合来计算？你会发现许多报告中都有只对一个工况进行了整体稳定分析，这是很不合理且不安全的，如同杆件验算，我们不可能只算一个组合。之所以你只看到一个工况是因为许多软件只能一次对一个组合进行屈曲分析或者全过程分析，无法批量进行计算。而 RFEM 6 中确可以对所有组合进行屈曲分析和全过程分析，而且是并行运算，同时计算所有稳定分析工况，并且自动找到最小临界荷载系数和对应的组合工况，这极大的提高了设计效率和安全度；**第二个难点**就是如何考虑杆件的材料非线性，许多软件只能按照铰模型来近似考虑材料非线性，只允许杆件指定铰的位置发生非线性，而 RFEM 6 中可以考虑材料非线性和几何非线性进行弹塑性全过程分析，这更加接近实际情况；**第三个难点**就是如何考虑缺陷，目前大多软件都是采用更新原始模型的方法来考虑，但是这样明显不合适，因为设计过程中的会有反复修改模型的需要，这样就得另存模型，模型维护成本很大。而 RFEM 6 中的缺陷不是更新初始几何模型的，而是更新后台的有限元模型，而且可以在同一个模型中，定义不同的缺陷来源，来进行对比，并且原始几何模型没有破坏。如此以来，降低了设计过程中反复修改多个模型的维护成本。

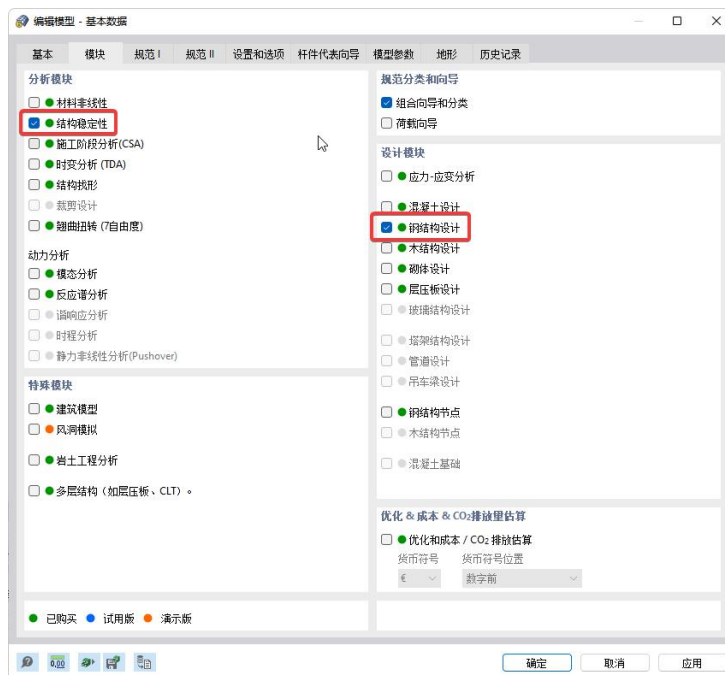
二、线性特征值屈曲分析

1. 激活“稳定分析”模块

右键单击>基本数据



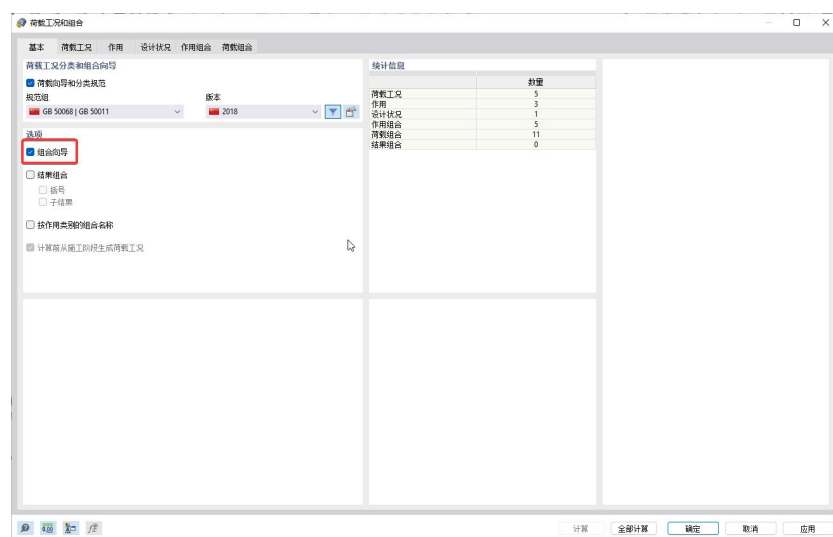
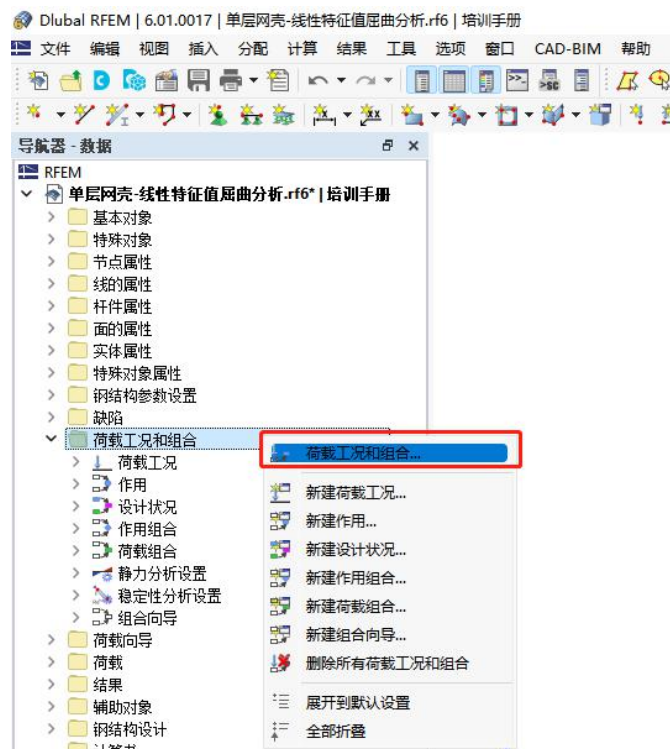
模块>勾选“结构稳定性”



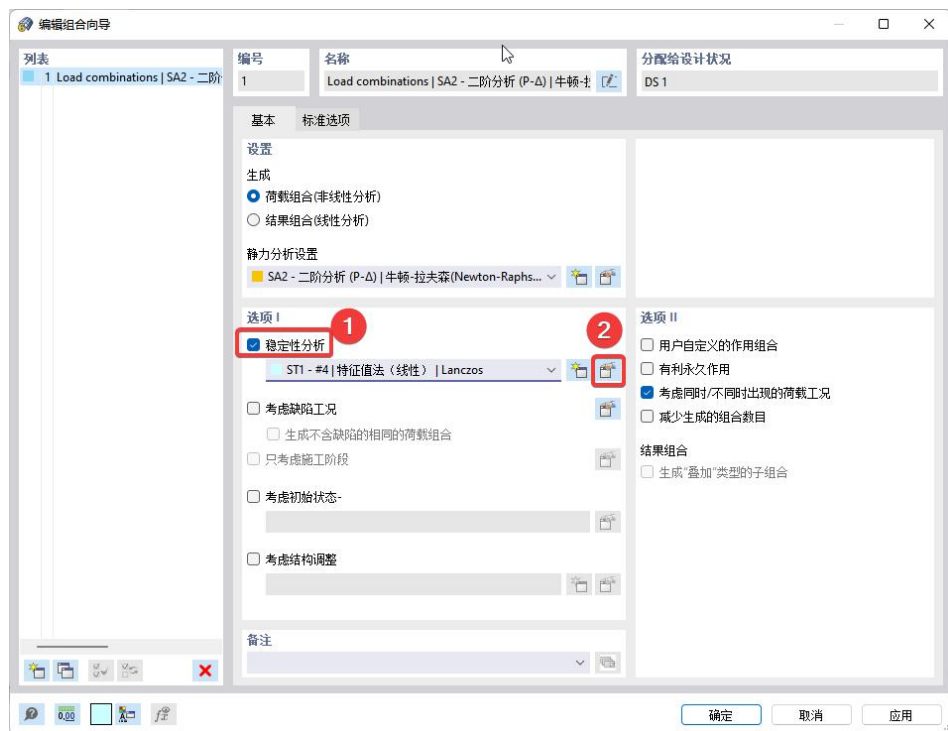
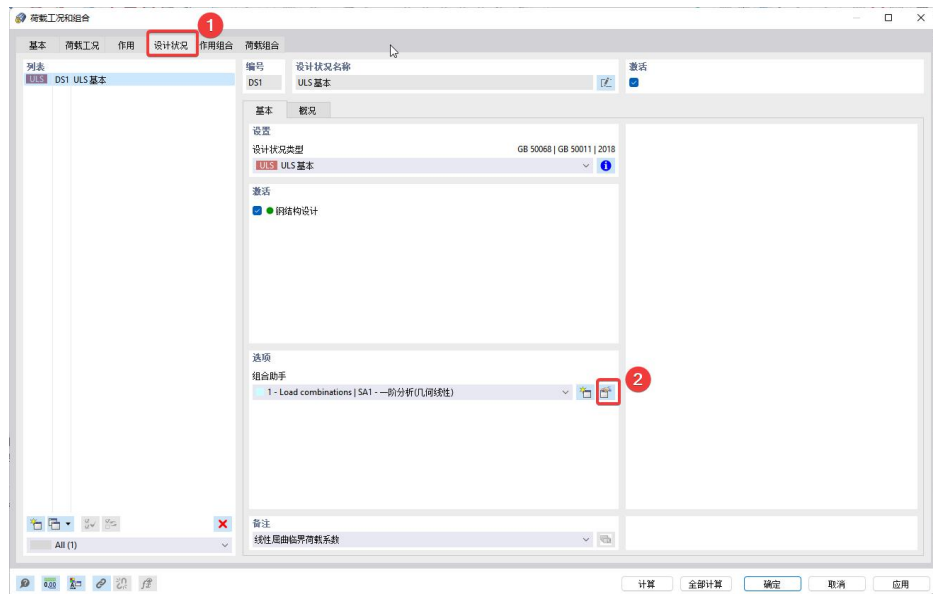
“钢结构设计”模块可选可不选。一般来说如果进行整体稳定分析前，构件已经验算过了，可以不用勾选。但是如果构件验算和整体稳定验算要整理在一个报告里，那么就勾选。

2. 参数设置

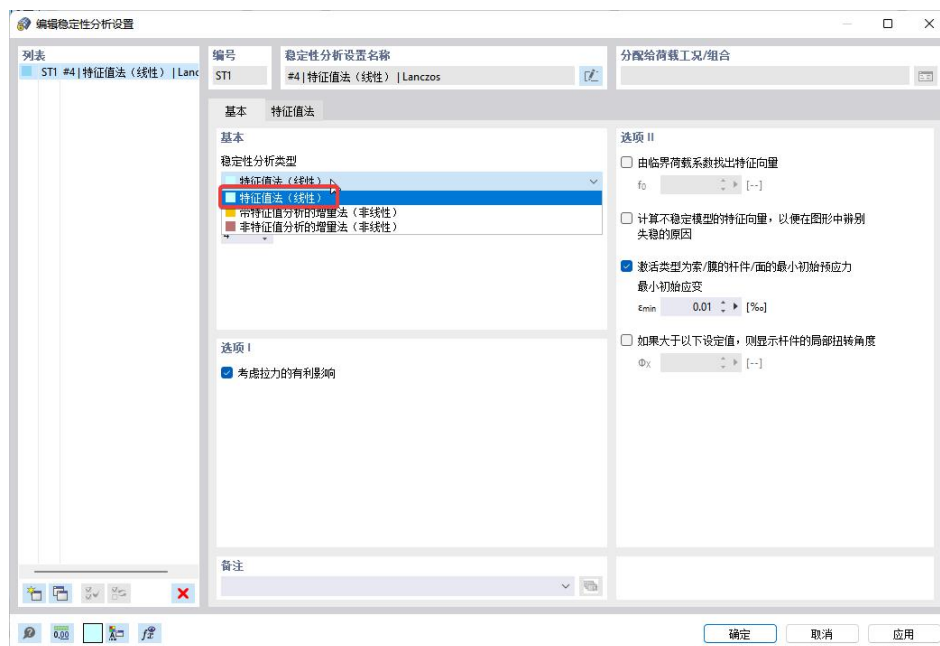
右键“荷载工况和组合”



如果勾选“组合向导”那么，程序会根据规范中的设计状况自动生成荷载组合，我们只需要在设计状况中进行稳定分析设置即可，所有采用该设计状况表达式生成的荷载组合都会进行稳定分析。

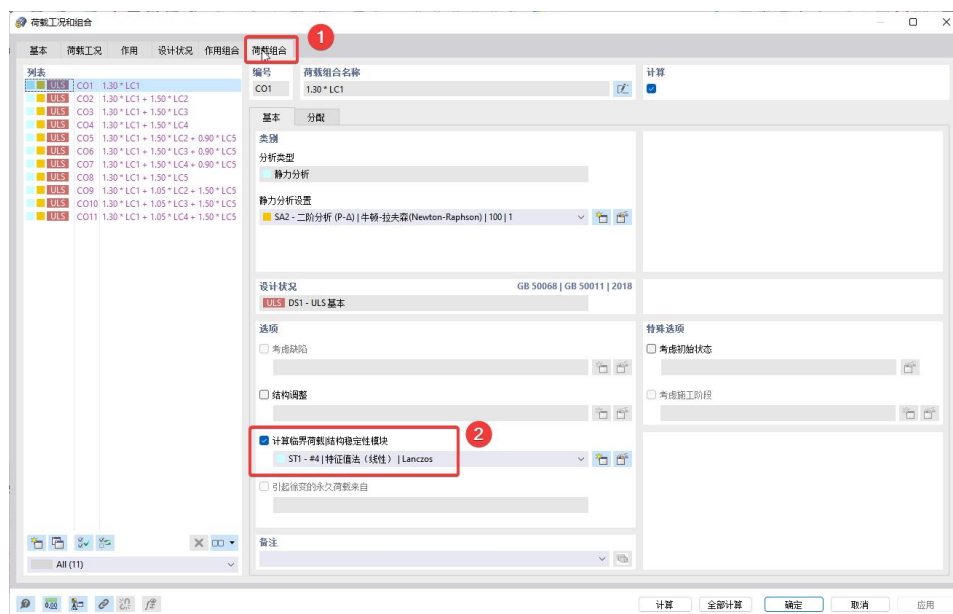


勾选“稳定性分析”后，该组合向导会生成两个荷载组合，一个按照“静力分析设置”进行荷载组合的求解，用于构件设计。另一个荷载组合用来进行稳定性分析。



稳定性分析类型选择“特征值法（线性）”，也即线性屈曲分析。

如果要进行几何非线性或者双非线性全过程分析，则需要选择“非特征值分析的增量法（非线性）”。

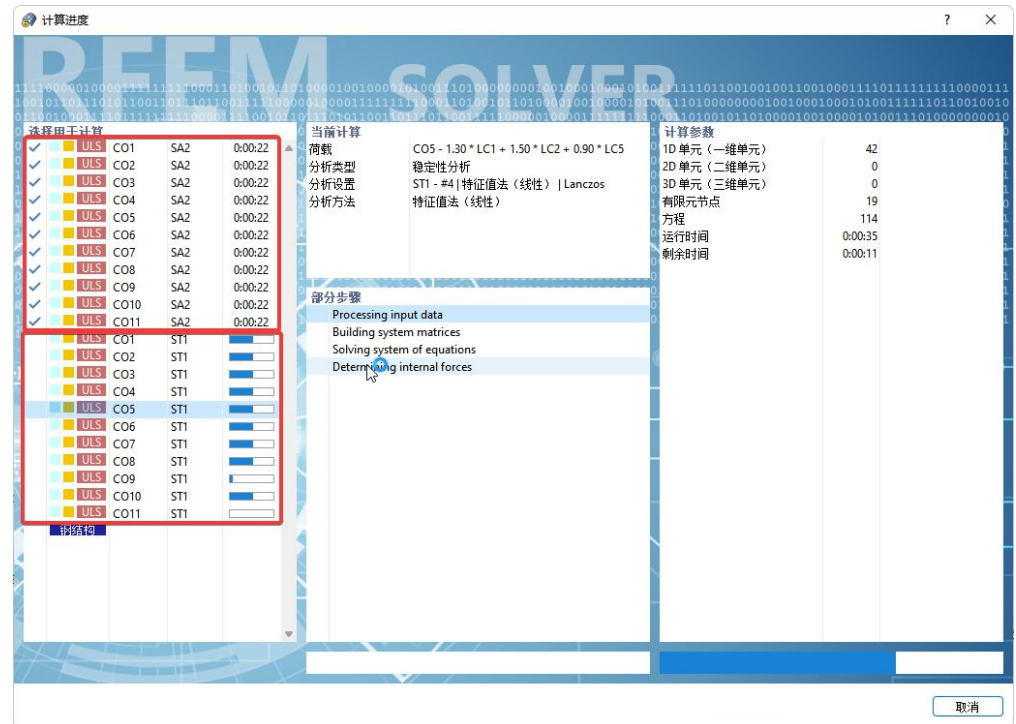


检查生成的荷载组合，你会所有的组合都自动勾选了“计算临界荷载|结构稳定性模块”并进行线性特征值法分析。这就是利用“组合向导”和“组合助手”的好处，可以批量设置荷载组合的计算配置。

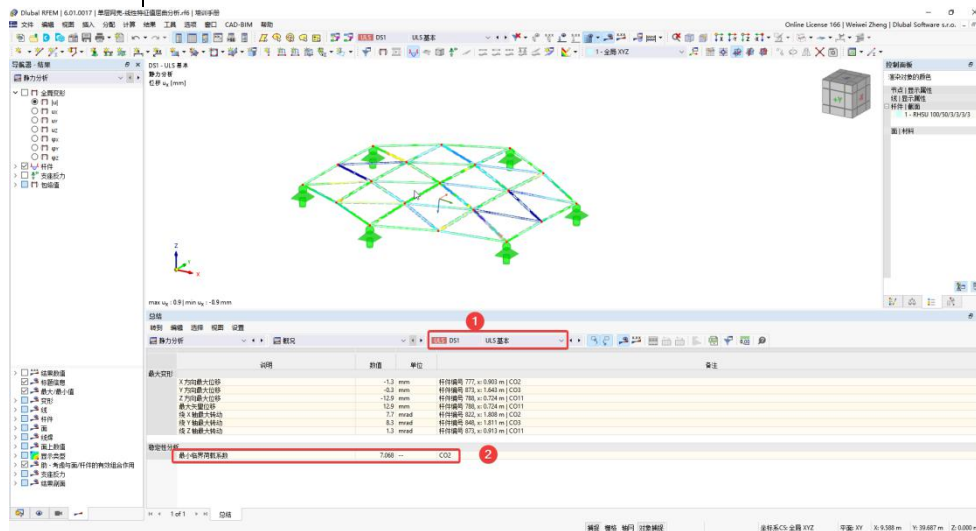
如果你的项目需要用自定义的组合，不能用“组合向导”，那么只需要左

边列表选中所有荷载组合，然后右边手动勾选“计算临界荷载|结构稳定性模块”，并手动增加一个特征值分法（线性）分析的参数配置即可。

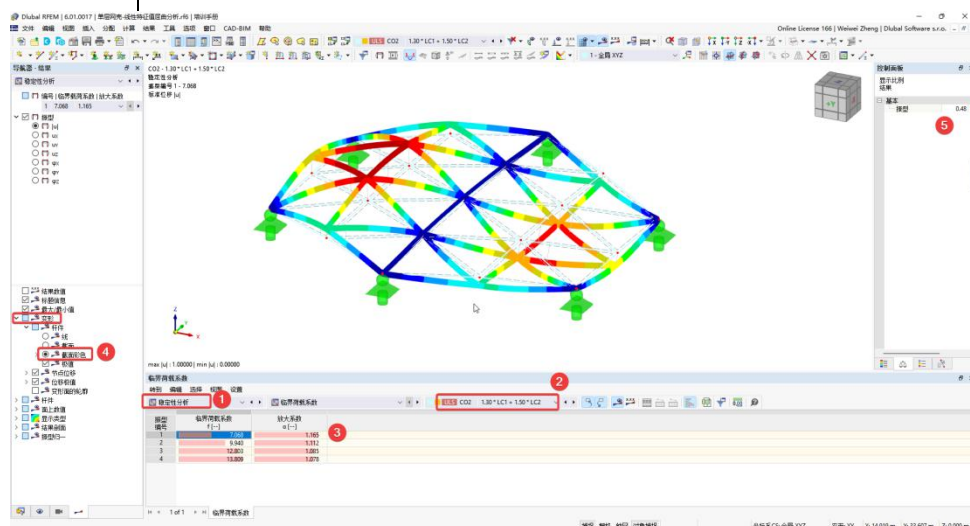
点击“全部计算”，计算进度显示窗口中，SA2 对应的就是用于构件设计的静力分析。而 ST1 对应的就是线性特征值分析。



3. 结果查看-最小临界荷载及对应工况



算完后，在表格栏中切换工况为“DS1”，也即用于生成所有荷载组合的设计状况，可理解为所有组合的包络，程序自动统计出最小临界荷载系数的值：7.068，并显示对应的荷载组合编号为 2 号组合。如果最小的临界荷载系数小于 4.2 的话，就不用再往后进行几何非线性/双非线性全过程分析了，肯定满足不了规范，需要调整方案。



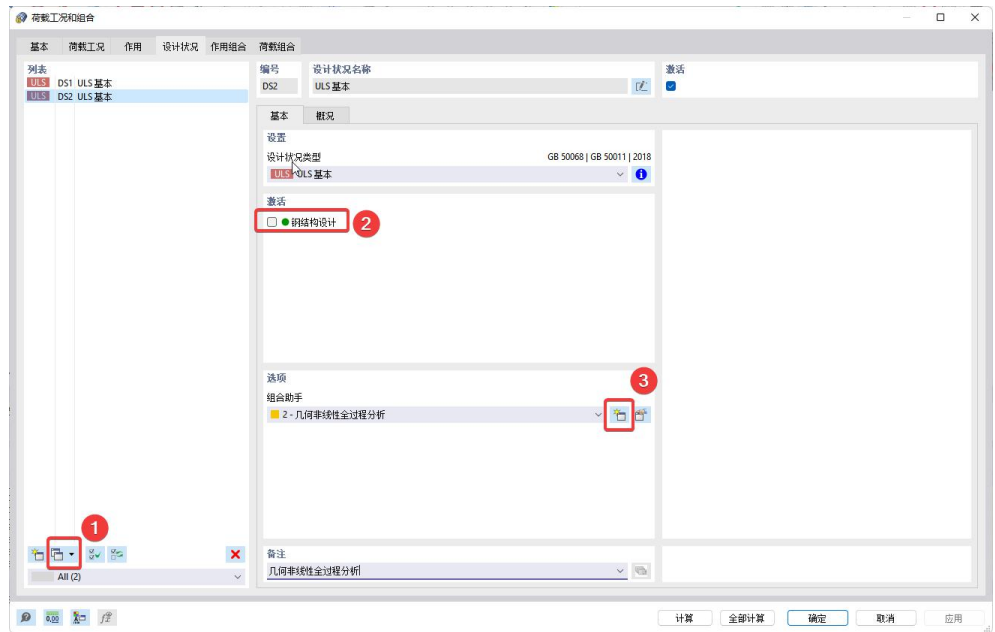
1-表格类型切换为“稳定性分析”，2-工况切换为 CO2，3-点击表格中对应振型编号所在行，图形就会显示该模态的形状，4-可以设置变形的显示风格，5-可以设置变形的大小。

三、几何非线性全过程分析

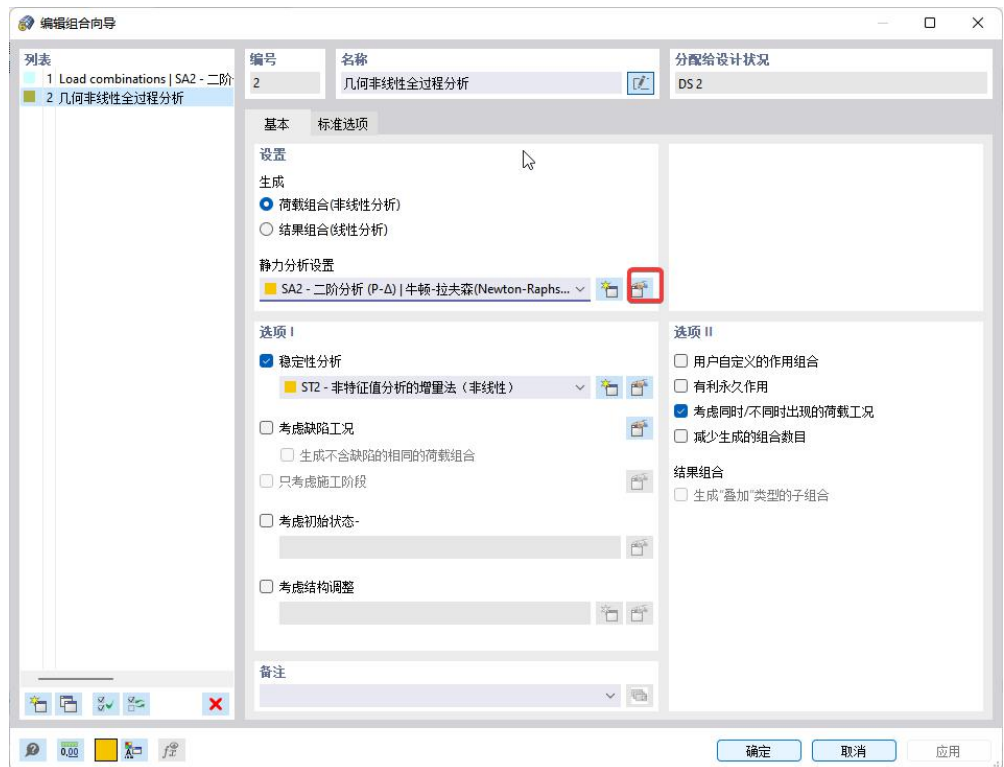
1. 参数设置

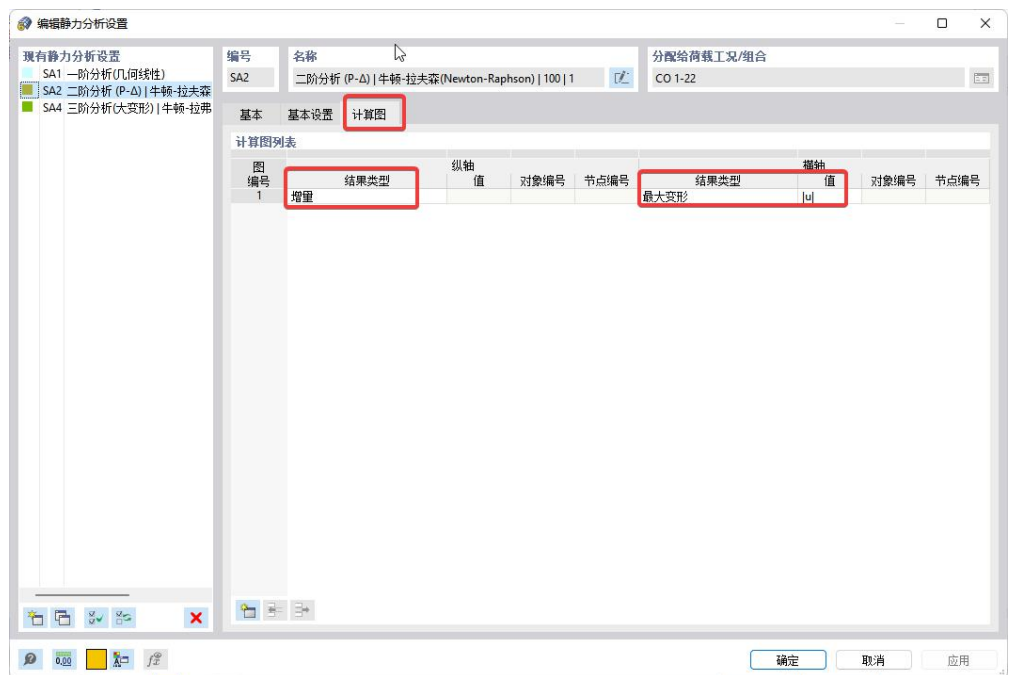
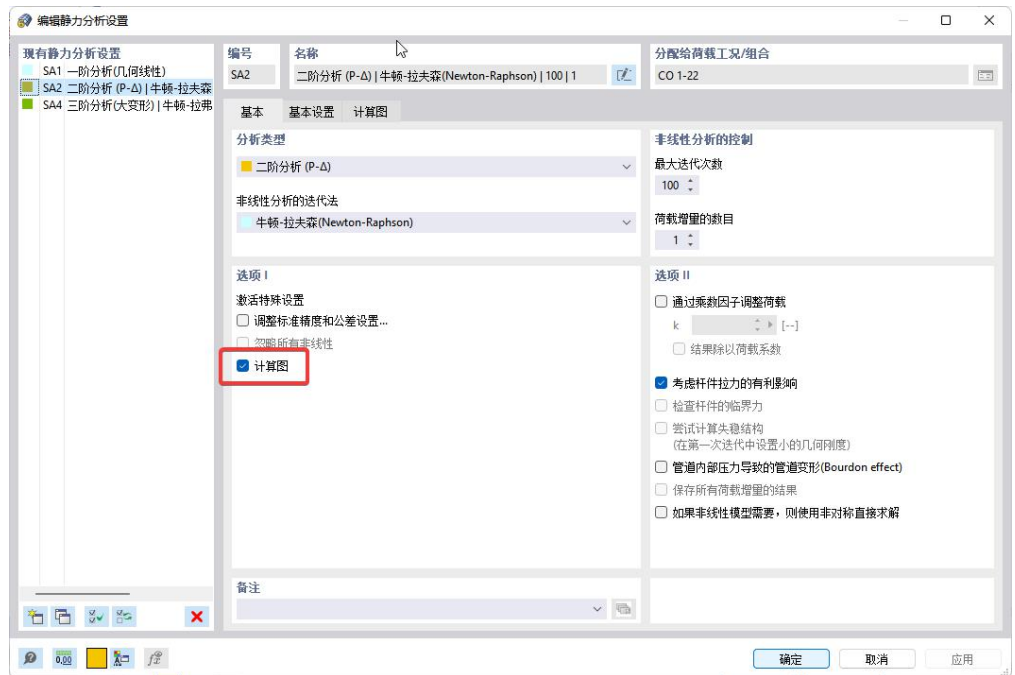
1. 复制设计状况
2. 取消“钢结构设计”
3. 新建“组合助手”

如此，可保留前面的结果，继续进行全过程分析。此设计状况仅用于稳定分析，不用于构件设计，因此取消“钢结构设计”。



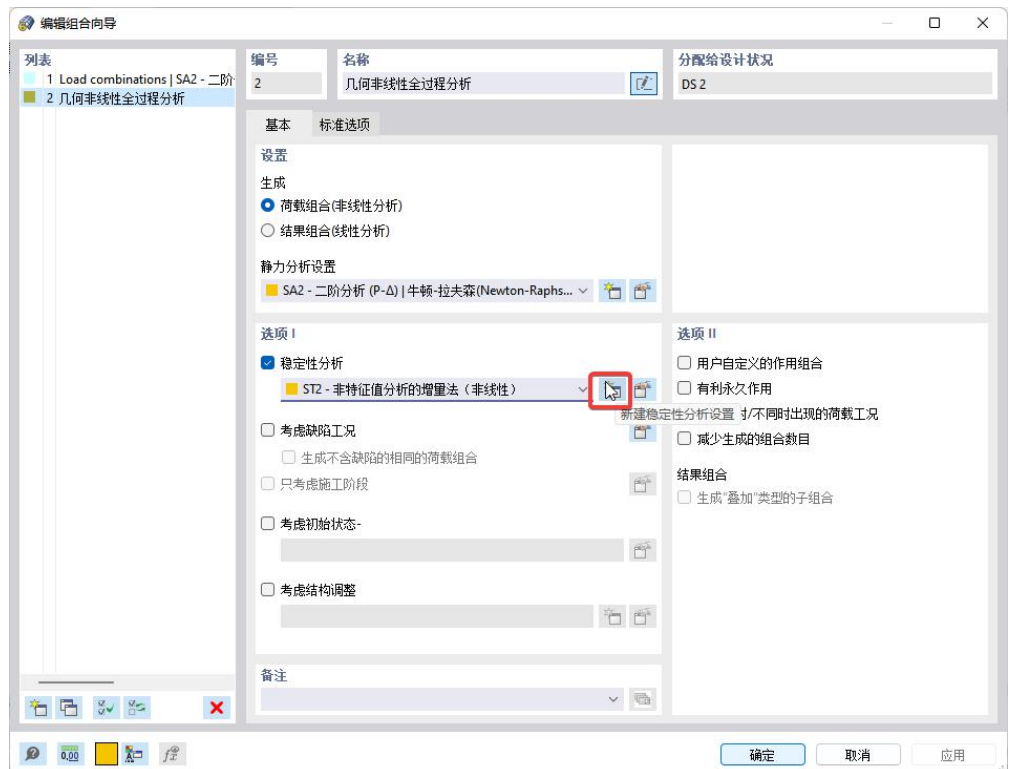
编辑静力分析设置，勾选“计算图”，这样才能显示荷载增量-位移曲线。



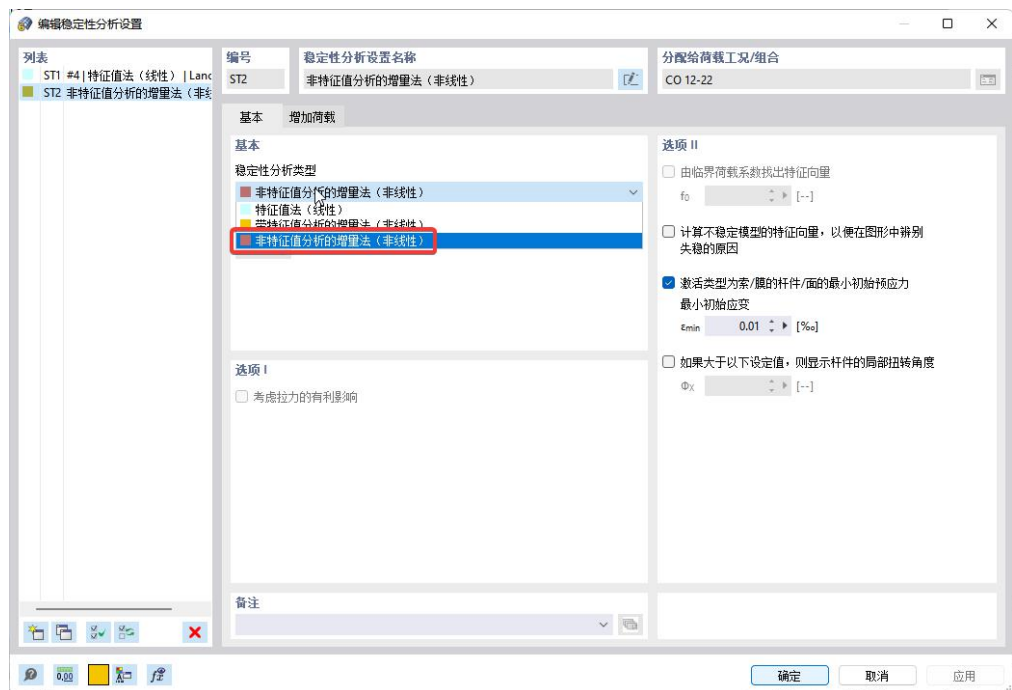


计算图横坐标为最大变形
绝对值，纵坐标为增量步。

新建稳定分析设置：
“非特征值分析的增量法
(非线性)”



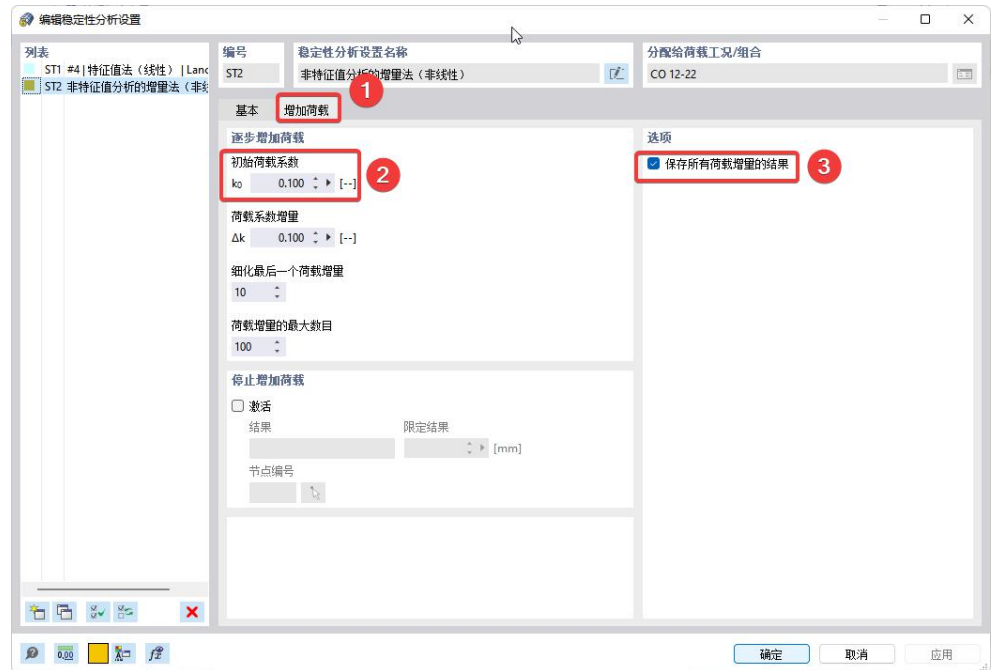
稳定分析类型改为最后一项。



1. 初始荷载系数默认为 1.0, 此处改为 0.1, 与荷载系数增量一致, 这样荷载增量-位移曲线会好看些, 否则第一段线斜率很小。

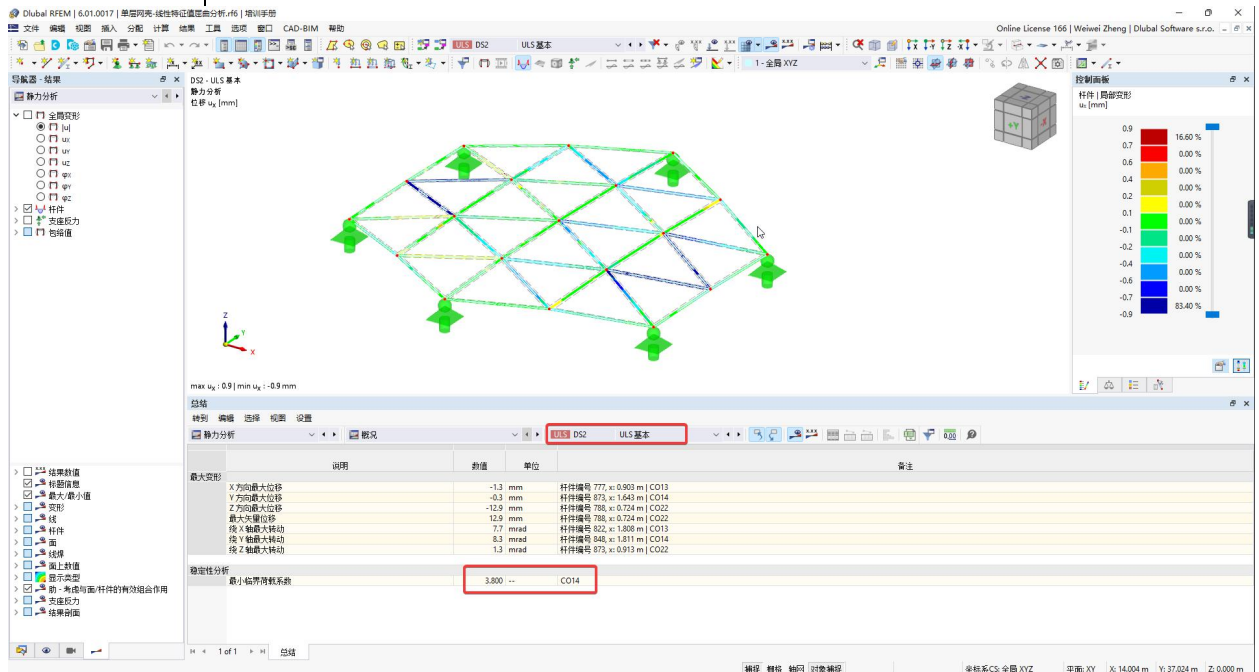
2. 勾选“保存所有荷载增量的结果”。如果只关心临界荷载系数大小, 不关心荷载位移曲线和每个增量步的结果的话, 就不需要勾选计算图和这里的设置了。

这里无需定义停止条件, 程序加载到不收敛为止, 自动返回不收敛时对应的荷载系数。



点击“确定”, 回到“荷载工况和组合”对话框后, 点击“全部计算”。

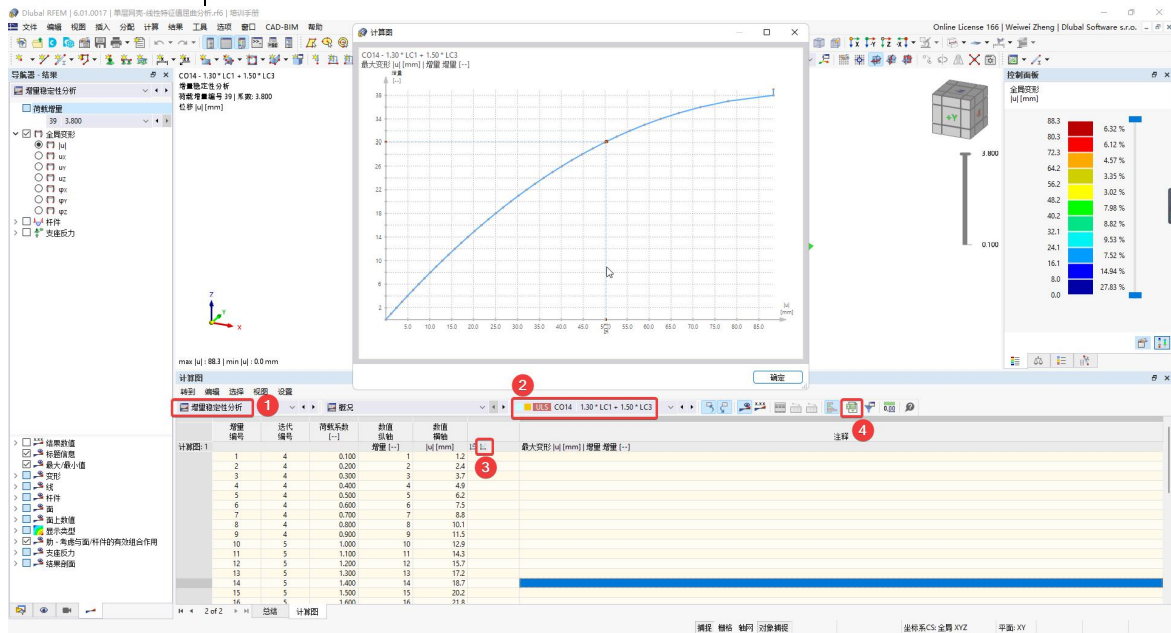
2. 结果查看-最小临界荷载系数及对应工况



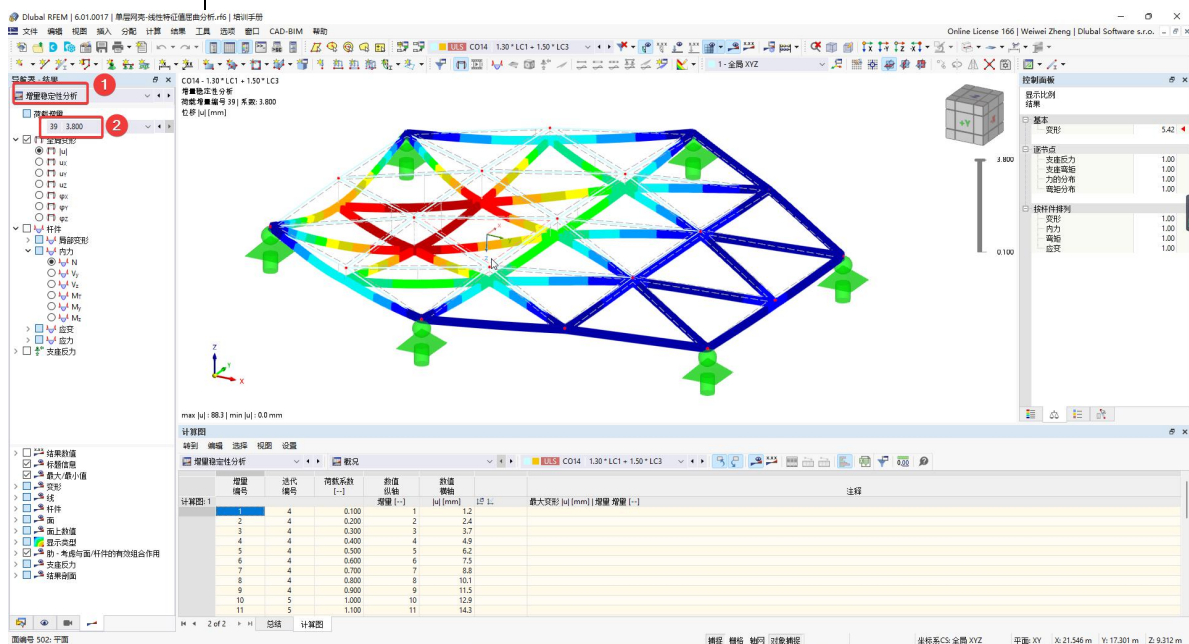
表格结果>静力分析>概况>工况下拉列表选择 DS2。

最小临界荷载系数为 3.8, 对应荷载组合为 CO14。按照《空间网格结构技术规程》要求, 此值需要大于 4.2。

3. 结果查看-荷载位移曲线



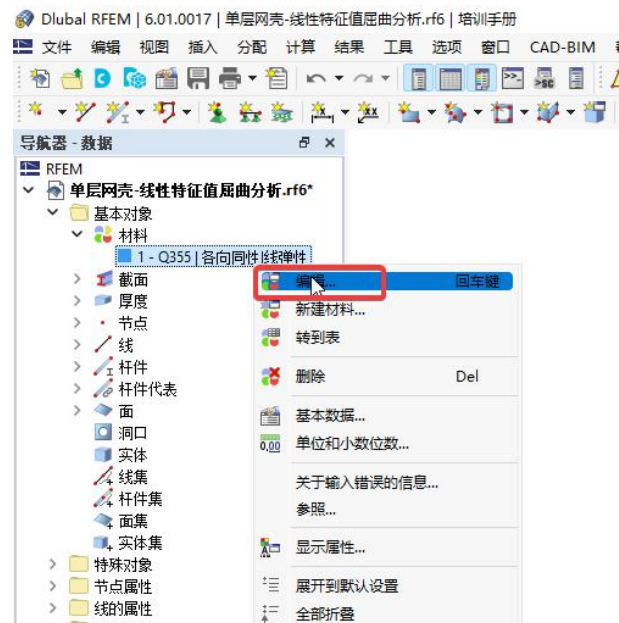
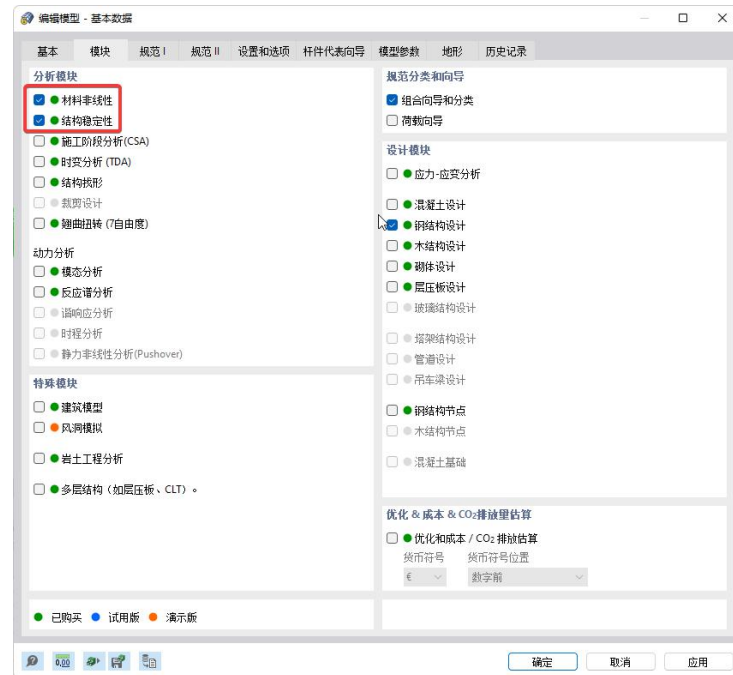
4. 结果查看-全过程图形结果



导航器-结果>增量稳定性分析>增量步：38。即可查看最后一步结构的图形结果。

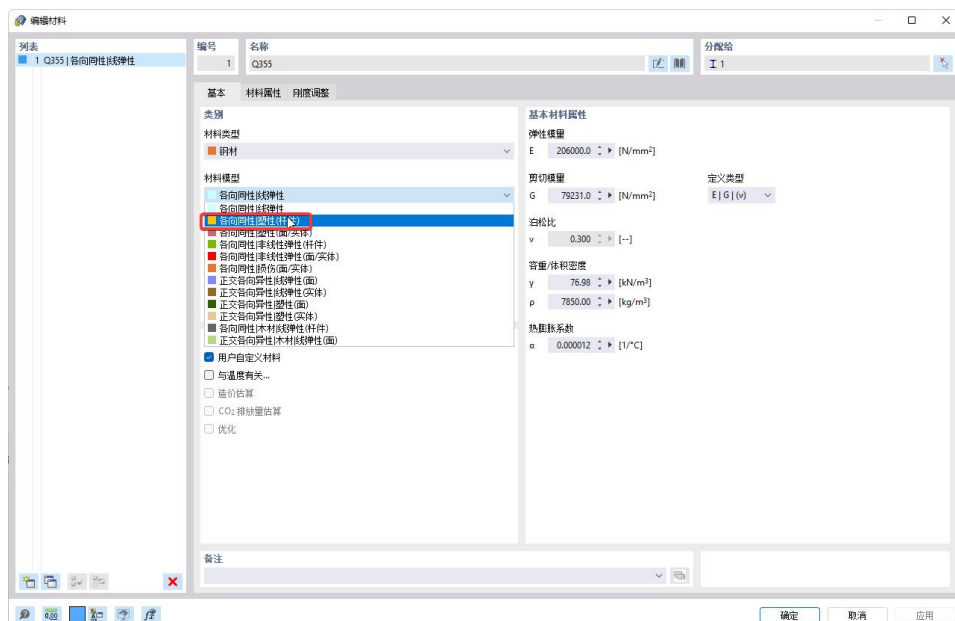
四、几何和材料非线性全过程分析

1. 激活“材料非线性”模块

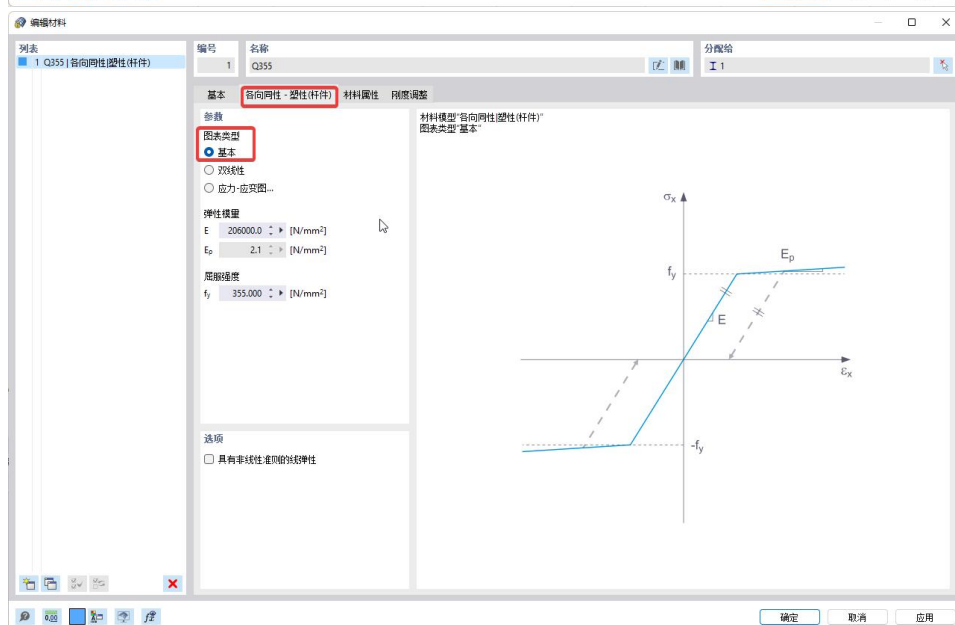


右键相关材料，编辑

材料模型改为“各向同性塑性
性（杆件）”



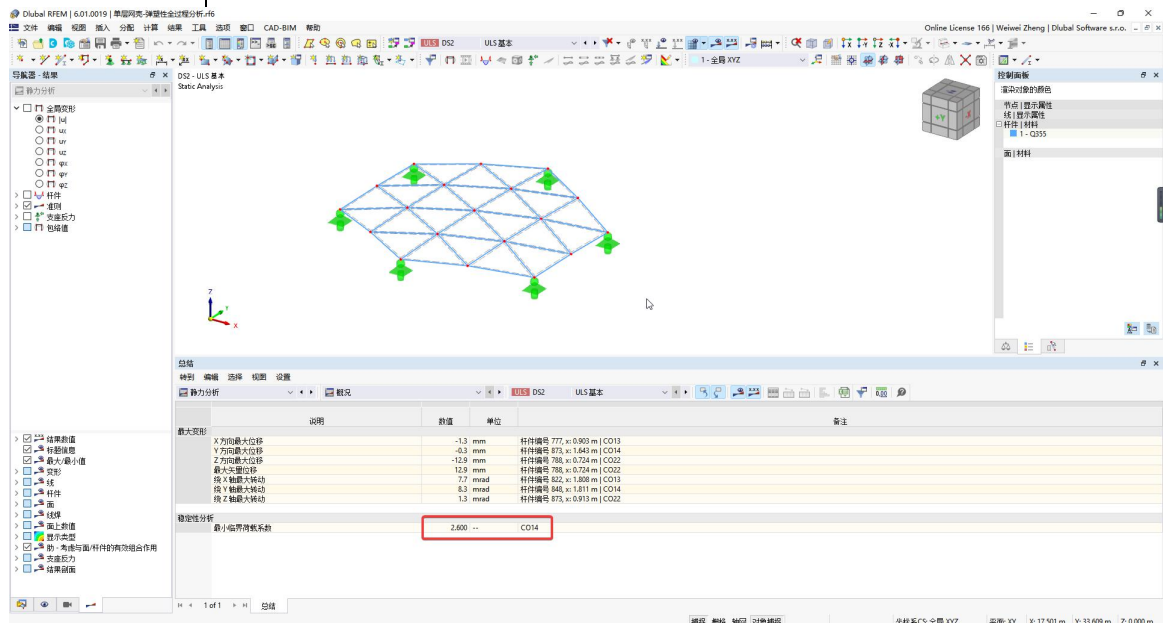
本构类型默认“基本”即可



本构类型默认为“基本”，屈服后弹性模量为初始弹膜得 1/100000，基本可认为是理想弹塑性。如果为“双线性”可自定义屈服后弹膜。如果为“应力-应变图”可根据试验数据输入应力-应变点，更接近实际情况。一般情况下“基本”就可以了。

稳定分析参数和前面几何非线性全过程分析的参数一样，这里我们直接看结果即可。

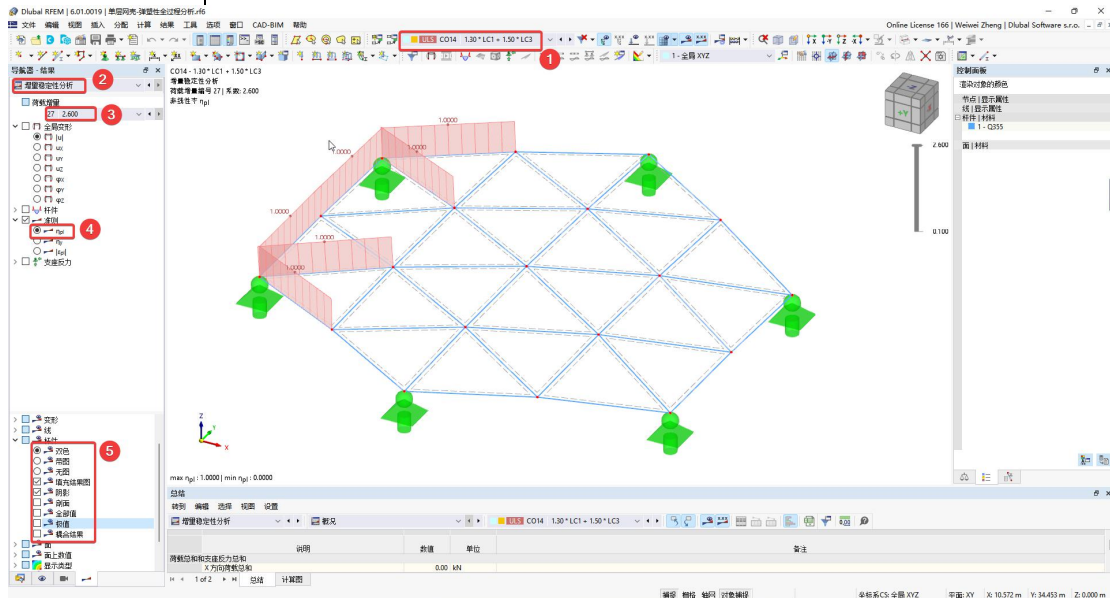
2. 结果查看-最小临界荷载系数及对应工况



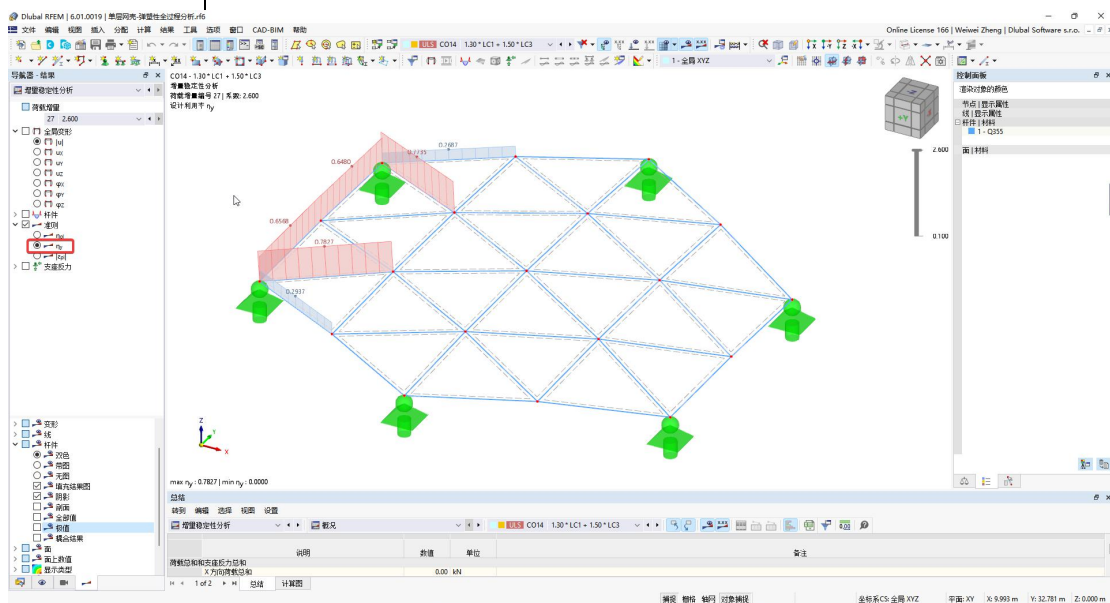
最小临界荷载系数为 2.6，对应荷载组合为 CO14。按照《空间网格结构技术规程》要求，此值需要大于 2.0。前面没有考虑材料非线性时，此值为 3.8，可见材料塑性的发展降低了一部分极限承载力。

荷载-位移曲线及图形结果查看与前面一章相同，此处不再介绍。相比于弹性全过程分析，弹塑性全过程分析还多一个结果就是杆件的塑性发展位置和程度。

3. 结果查看-塑性发展区域



非线性率 $\eta_{pl}=1.0$ 即代表杆件有材料进入塑性。

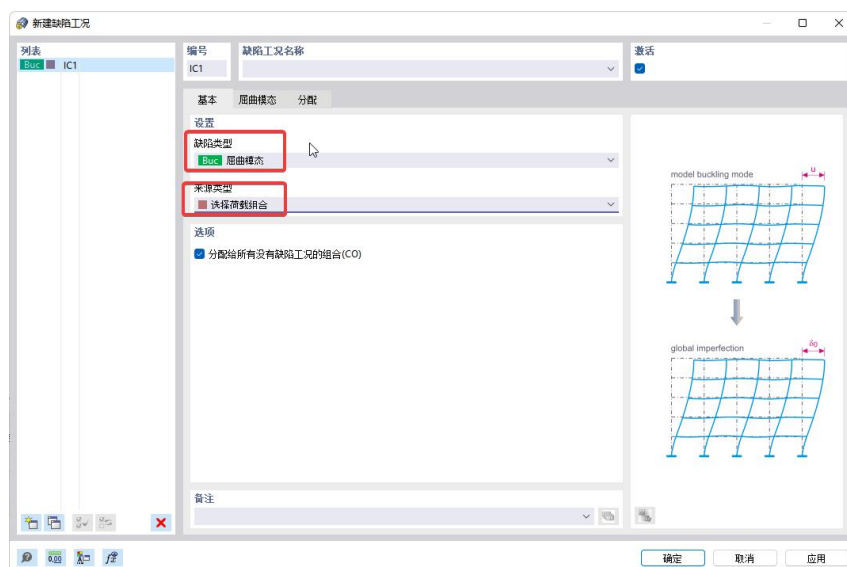
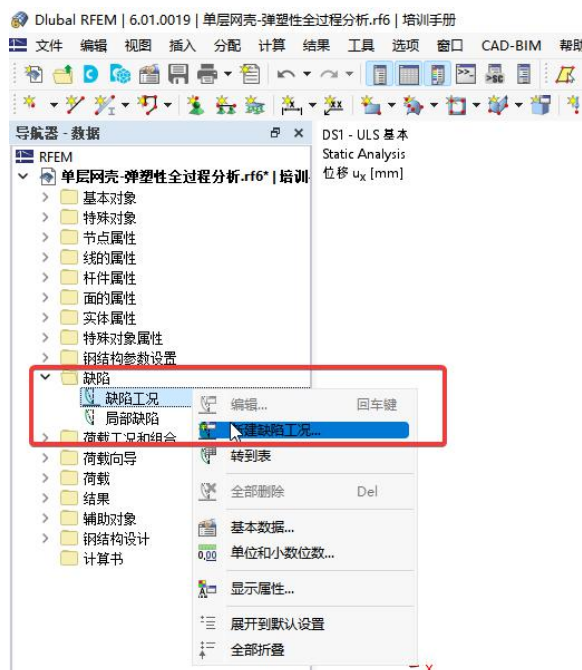


设计利用率 $\eta_y=0.78$ 代表杆件截面上 78%的材料进入了塑性。

五、缺陷的引入

1. 按照屈曲模态定义缺陷

由前面线性特征值屈曲分析可知，荷载组合 CO2 对应的临界荷载系数最小为 7.074。因此我们将基于 CO2 的最低阶屈曲模态生成缺陷。

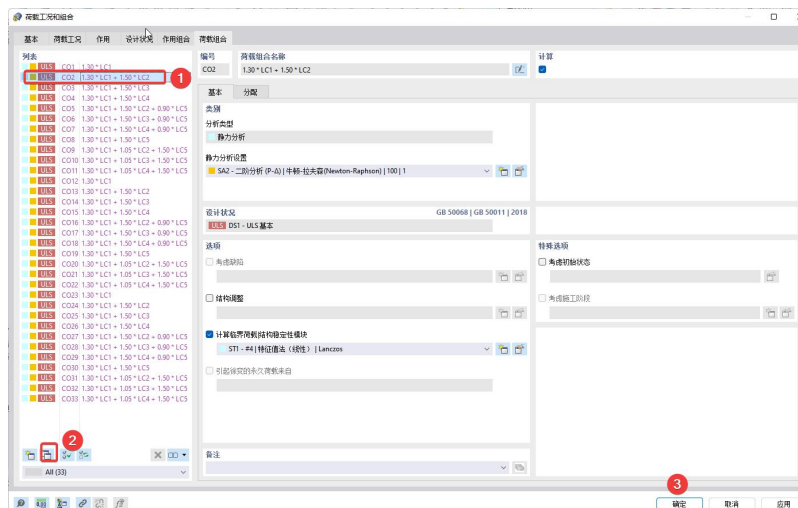
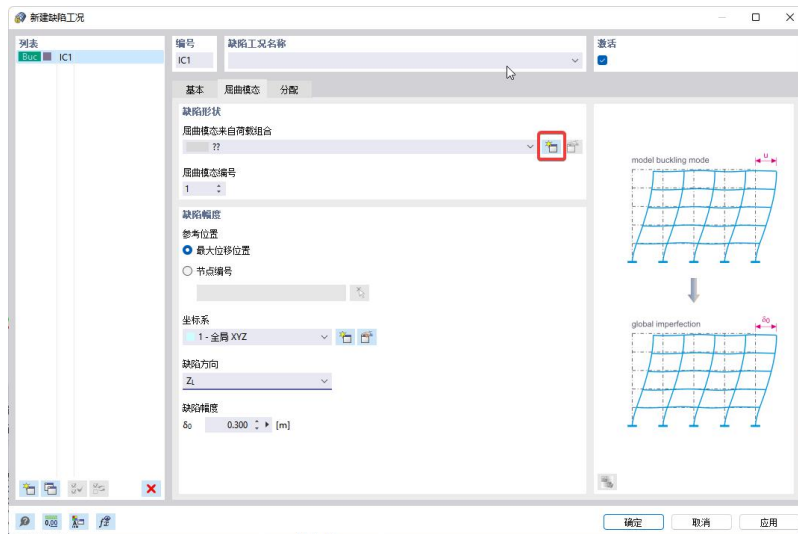


缺陷类型：屈曲模态

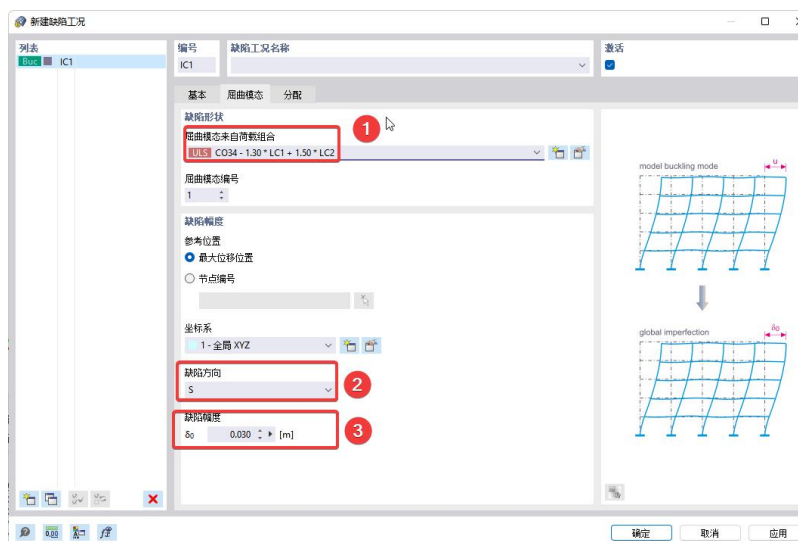
来源类型：荷载组合

如果荷载组合下拉列表
中没有组合，那么就新
建一个。

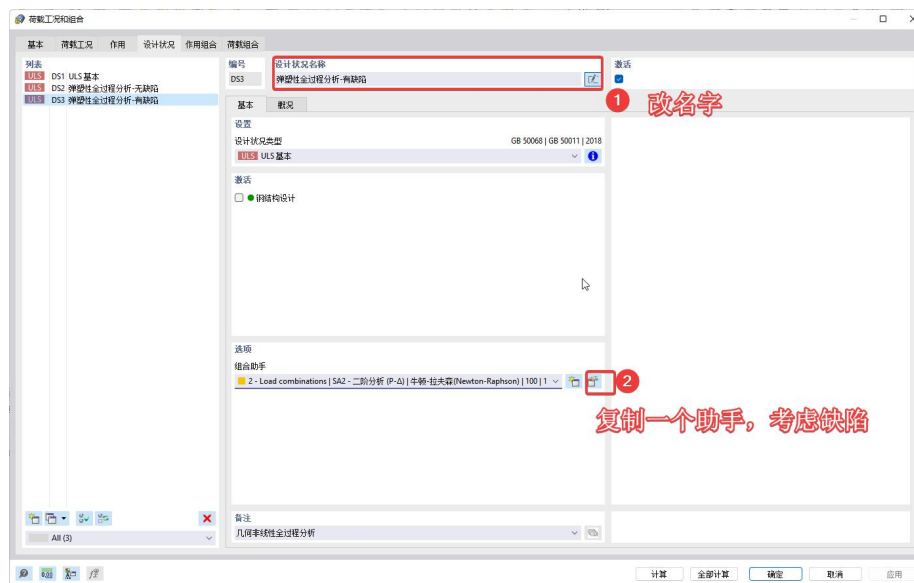
新建的时候，直接选中
CO2 然后复制，得到
CO34。



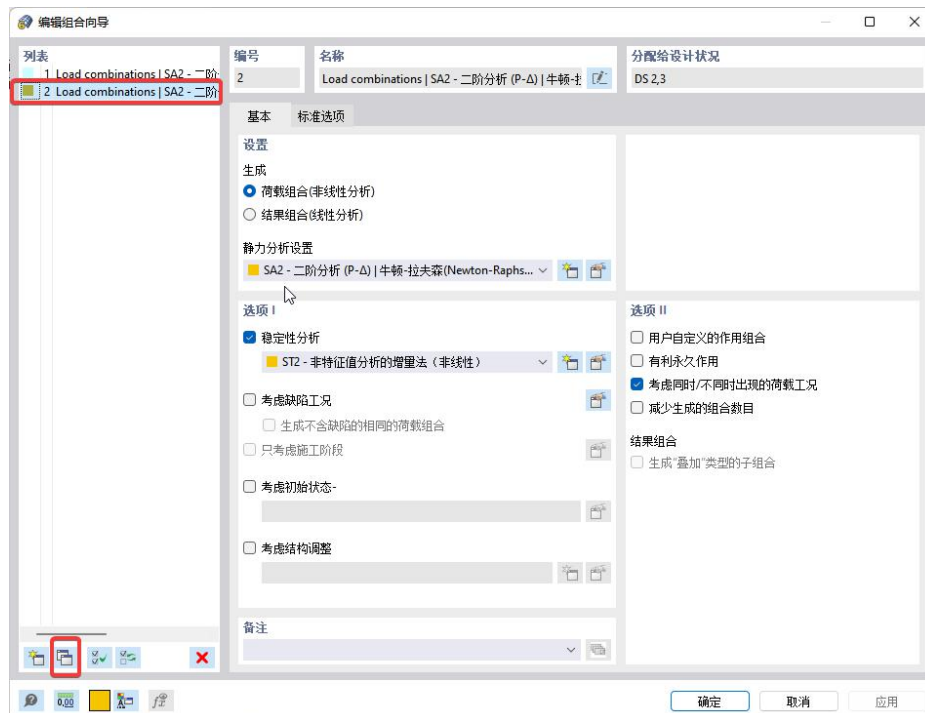
- 1-组合选择 CO34
- 2-缺陷方向选择 S(空间)
- 3-缺陷幅度 L/300(L 结构最大跨度)

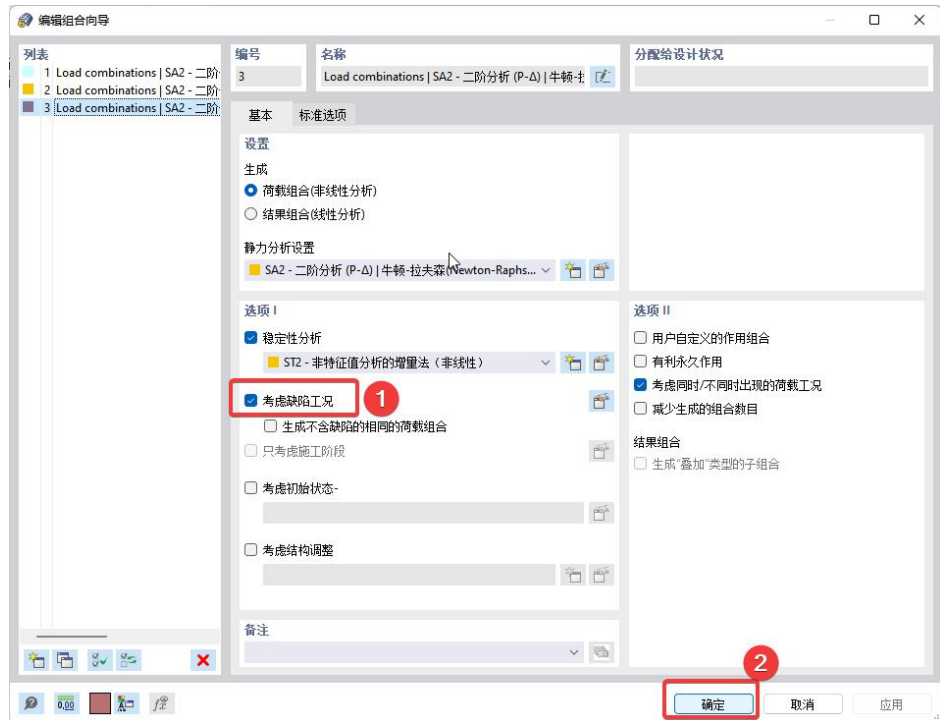


2. 在设计状况中考虑缺陷

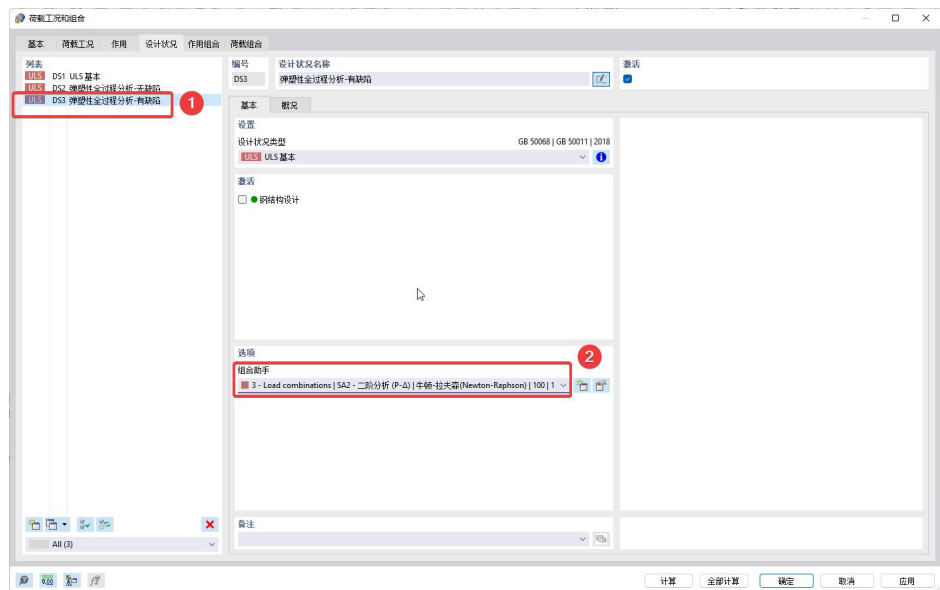


- 1) 进入“荷载工况和组合”对话框，修改 DS2 和 DS3 的名称。
- 2) 进入“编辑组合向导”对话框，复制一个新的“组合向导”，否则直接修改组合向导 2 的话，DS2 也会考虑缺陷，因为 DS2 引用的是组合向导 2。

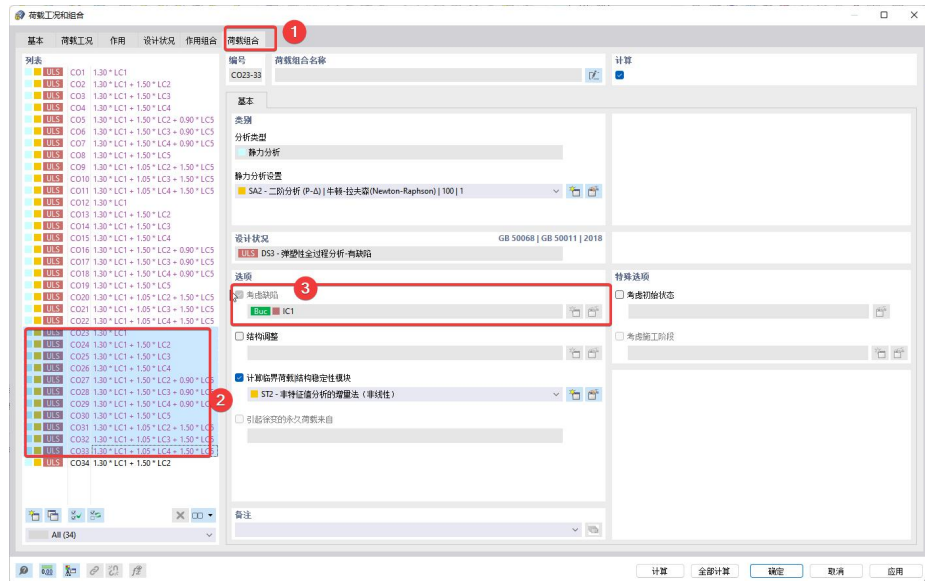




组合向导 3 勾选考虑缺陷工况，然后确定。



设计状况 3 的组合助手选为 3 号组合向导，如此生成的所有组合都会考虑缺陷。



检查 DS3 生成的荷载组合 CO23~CO33，所有组合都考虑了缺陷。

点击全部计算后，结果如下：

总结			
转到 编辑 选择 视图 设置			
静力分析			
概况			
DS2 弹性性全过程分析-无缺陷			
说明	数值	单位	
最大变形			
X 方向最大位移	-1.3	mm	杆件编号 777, x: 0.903 m CO13
Y 方向最大位移	-0.3	mm	杆件编号 873, x: 1.643 m CO14
Z 方向最大位移	-12.9	mm	杆件编号 788, x: 0.724 m CO22
最大矢量位移	12.9	mm	杆件编号 788, x: 0.724 m CO22
绕 X 轴最大转动	7.7	mrad	杆件编号 822, x: 1.808 m CO13
绕 Y 轴最大转动	8.3	mrad	杆件编号 848, x: 1.811 m CO14
绕 Z 轴最大转动	1.3	mrad	杆件编号 873, x: 0.913 m CO22
稳定性分析			
最小临界荷载系数	2.600	--	CO14

转到 编辑 选择 视图 设置			
静力分析			
概况			
DS3 弹性性全过程分析-有缺陷			
说明	数值	单位	
最大变形			
X 方向最大位移	-2.2	mm	杆件编号 777, x: 0.903 m CO24
Y 方向最大位移	-0.4	mm	杆件编号 858, x: 1.630 m CO30
Z 方向最大位移	-15.9	mm	杆件编号 777, x: 0.903 m CO32
最大矢量位移	16.0	mm	杆件编号 777, x: 0.903 m CO32
绕 X 轴最大转动	8.0	mrad	杆件编号 194, x: 0.361 m CO26
绕 Y 轴最大转动	-10.3	mrad	杆件编号 194, x: 0.000 m CO26
绕 Z 轴最大转动	1.5	mrad	杆件编号 873, x: 0.730 m CO26
稳定性分析			
最小临界荷载系数	2.300	--	CO24

考虑缺陷后，临界荷载系数由 2.6 降低到了 2.3。