



# RFEM 6

## 整体缺陷及构件缺陷 应用指南

Guide to Global Imperfection  
And Local Imperfection

### 培训手册

Training Manual

# 目录

<b>一、 为什么要考虑缺陷 .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>二、 整体侧移缺陷如何考虑 .....</b>	<b>- 2 -</b>
1. 规范要求 .....	- 2 -
2. 软件实现-方法 A: 屈曲模态缺陷 .....	- 3 -
3. 软件实现-方法 B-1:按层执行公式 5.2.1-1 .....	- 7 -
4. 软件实现-方法 B-2:按构件执行公式 5.2.1-1 .....	- 10 -
<b>三、 局部弯曲缺陷如何考虑 .....</b>	<b>- 12 -</b>
<b>四、 常问题解答 .....</b>	<b>- 14 -</b>
1. 如何实现 X 向水平力组合只考虑 X 向整体缺陷? .....	- 14 -
2. 构件被打断后, 如何能按照全长度添加弯曲缺陷? .....	- 15 -
3. 按照屈曲模态添加整体缺陷时, 如何考虑反方向? .....	- 16 -
4. 如何同时考虑屈曲模态缺陷和杆件局部弯曲缺陷? .....	- 17 -
5. 各个杆件局部弯曲缺陷如何组合才最不利? .....	- 19 -

# 一、为什么要考虑缺陷

结构或构件的稳定性验证应考虑缺陷和二阶效应。

对于二阶效应不明显的比较规则的层结构（二阶效应系数小于 0.1），一般可以采用计算长度系数法来考虑二阶效应和缺陷。而对于二阶效应系数比较大的层结构（二阶效应系数大于 0.1）或者异形结构、大跨钢结构（张拉体系、单层网壳等）应采用二阶 P- $\Delta$ 弹性法和直接分析法。

对于这两种设计方法，规范有如下规定：

**【新钢标 5.4.1】** 构件设计采用二阶 P- $\Delta$ 弹性分析法时，应考虑整体缺陷，不用考虑构件层面缺陷，这部分影响通过构件稳定验算中的稳定系数考虑。计算长度系数可保守取 1.0。

**【新钢标 5.5.1】** 构件设计采用直接分析法时，应考虑整体缺陷和杆件局部缺陷。不需要按照计算长度法进行构件受压稳定验算。

可见，这两种方法虽然在构件设计步骤中避免了计算长度系数的计算，但稳定验算所需要的二阶效应和缺陷需要在分析步骤中考虑。

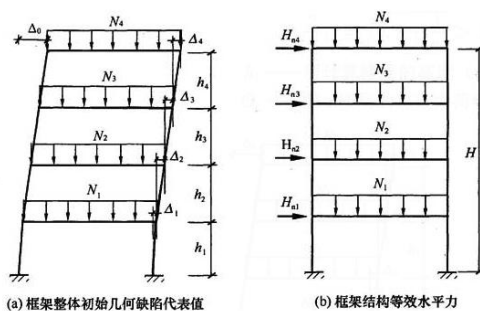
## 二、整体侧移缺陷如何考虑

二阶 P-Δ弹性法和直接分析法都需要考虑整体缺陷, 因此先来看下整体缺陷考虑方法。

### 1. 规范要求

【5.2.1】结构整体缺陷模式可按照以下三种方法:

- A. 最低阶整体屈曲模态采用, 框架及支撑结构整体初始几何缺陷代表值的最大值可取  $H/250$ ,  $H$  为结构总高度; 如果是大跨结构最大值取  $L/300$ ,  $L$  为结构跨度。
- B. 按照公式 5.2.1-1 计算每层的缺陷值  $\Delta_i$ 。
- C. 按照公式 5.2.1-2 给每层添加假想荷载  $H_{ni}$ 。



(a) 框架整体初始几何缺陷代表值

(b) 框架结构等效水平力

$$\Delta_i = \frac{h_i}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} \quad (5.2.1-1)$$

$$H_{ni} = \frac{G_i}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} \quad (5.2.1-2)$$

式中:  $\Delta_i$  —— 所计算第  $i$  楼层的初始几何缺陷代表值 (mm);

$n_s$  —— 结构总层数, 当  $\sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} < \frac{2}{3}$  时取此根号值为

$\frac{2}{3}$ ; 当  $\sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}} > 1.0$  时, 取此根号值为 1.0;

$h_i$  —— 所计算楼层的高度 (mm);

$G_i$  —— 第  $i$  楼层的总重力荷载设计值 (N)。

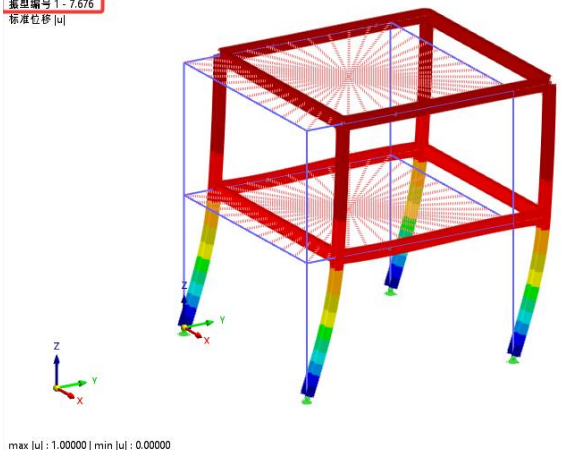
## 2. 软件实现-方法 A：屈曲模态缺陷

本方法需要用到屈曲模态，因此用软件中的“稳定(屈曲)分析模块”对所有组合进行屈曲分析，程序会自动找到哪个荷载组合的临界荷载系数最小，该组合即为控制组合。利用该组合的模态来生成整体缺陷。对所有组合进行屈曲分析的方法见《RFEM6-大跨空间结构整体稳定分析手册》。

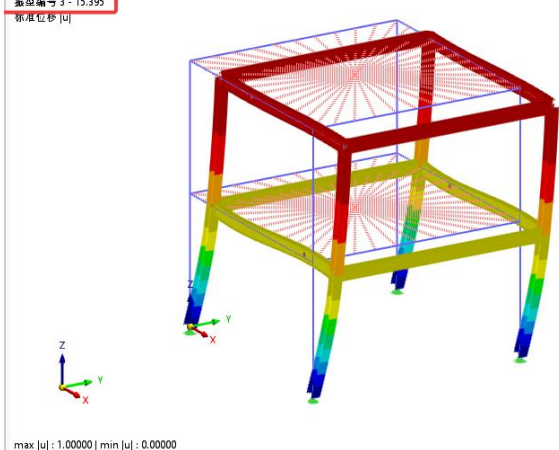
### 1) 找到控制组合

总结				
转到 编辑 选择 视图 设置				
静力分析 概况 ULS DS1 ULS 基本				
最大变形	说明	数值	单位	
X 方向最大位移		0.5	mm	杆件编号 10, x: 2625 mm   CO1
Y 方向最大位移		1.1	mm	杆件编号 11, x: 2625 mm   CO1
Z 方向最大位移		-9.5	mm	杆件编号 13, x: 3000 mm   CO1
最大矢量位移		9.5	mm	杆件编号 13, x: 3000 mm   CO1
绕 X 轴最大转动		3.8	mrاد	杆件编号 14, x: 5000 mm   CO1
绕 Y 轴最大转动		2.8	mrاد	杆件编号 15, x: 5000 mm   CO2
绕 Z 轴最大转动		0.0	mrاد	
稳定性分析				
最小临界荷载系数		7.676	--	CO2

CO9 - 屈曲分析组合  
稳定性分析  
振型编号 1 - 7.676  
标准位移 [u]

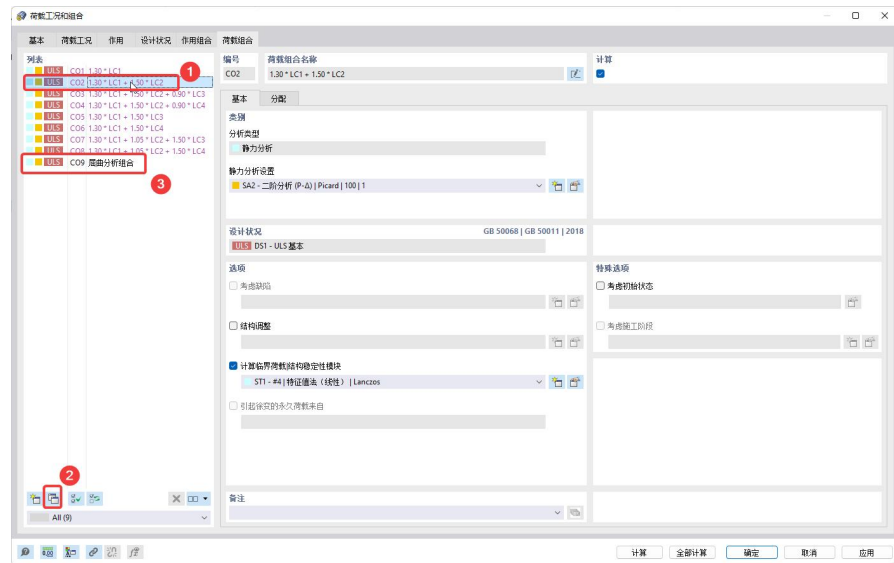


CO9 - 屈曲分析组合  
稳定性分析  
振型编号 3 - 15.395  
标准位移 [u]

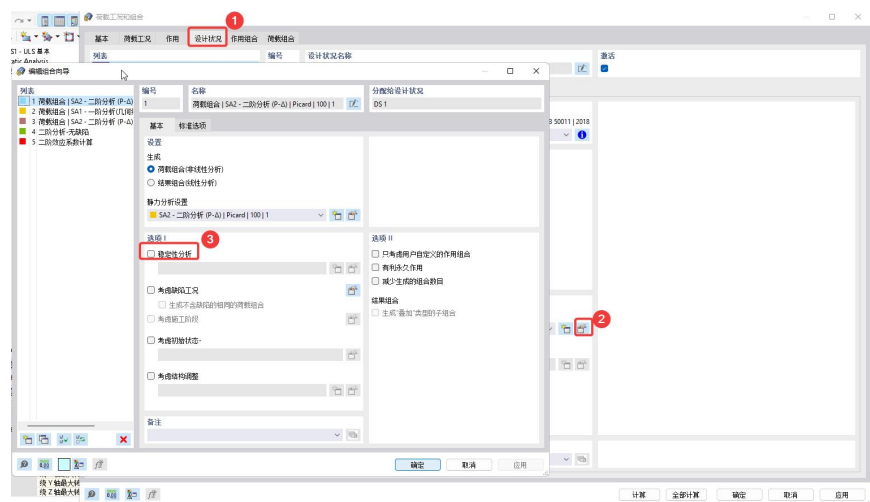


1 阶模态可作为 Y 向缺陷；3 阶模态可作为 X 向缺陷。

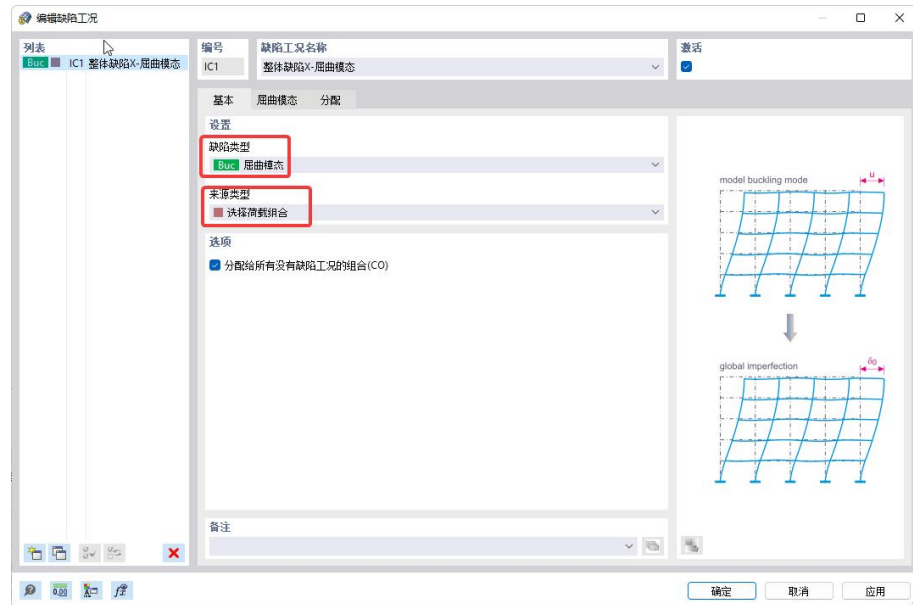
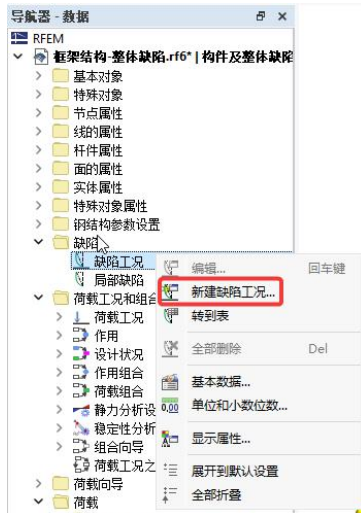
## 2) 复制控制组合创建一个用于生成缺陷的组合



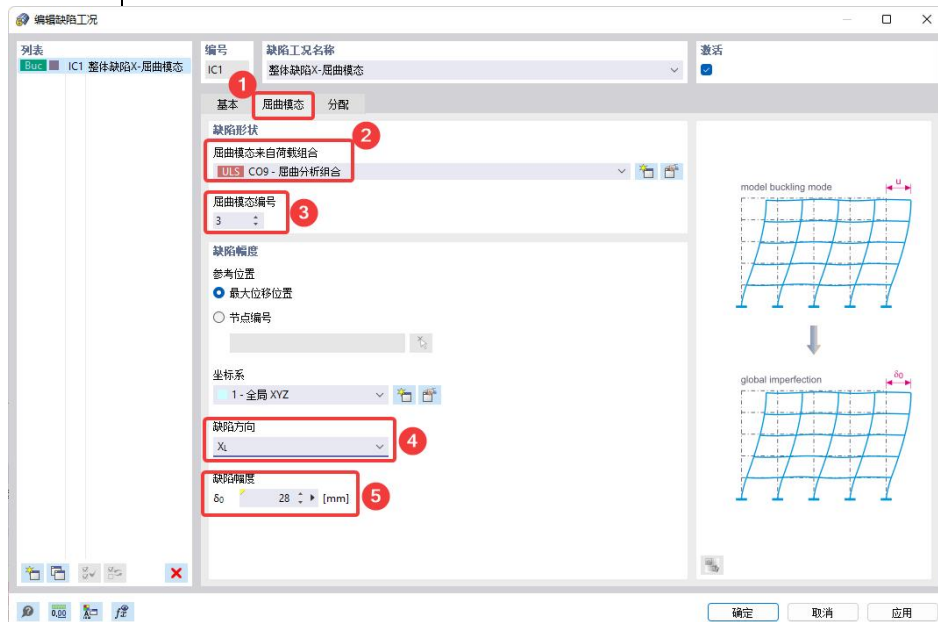
这一步的主要原因是，组合 CO1-8 都需要使用缺陷，因此不能由使用缺陷的工况生成缺陷，这样会陷入死循环。因此需要复制一个新的组合，这个组合用于生成缺陷的分布模式。其他组合的稳定分析设置可以取消掉，因为已经找到了控制组合。只需要在“设计状况”选项卡中的“组合向导”编辑对话框中将“稳定性”取消即可。这样只有 CO9 屈曲分析组合进行屈曲分析，然后用于生成缺陷，其他组合 CO1-8 使用整体缺陷并用于构件设计，不再进行屈曲分析。



### 3) 创建缺陷工况：整体缺陷 X-屈曲模态，缺陷类型：屈曲模态



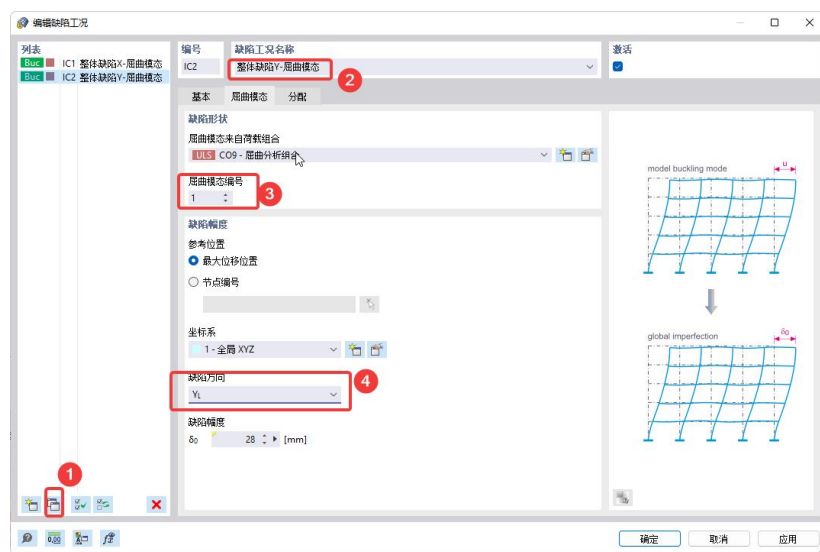
- 缺陷类型：屈曲模态。
- 来源类型：选择荷载组合。
- 选项“分配给所有没有缺陷工况的组合”默认勾选，所有组合都会考虑这个缺陷，不要取消，如果不想引入这个缺陷就可以取消。



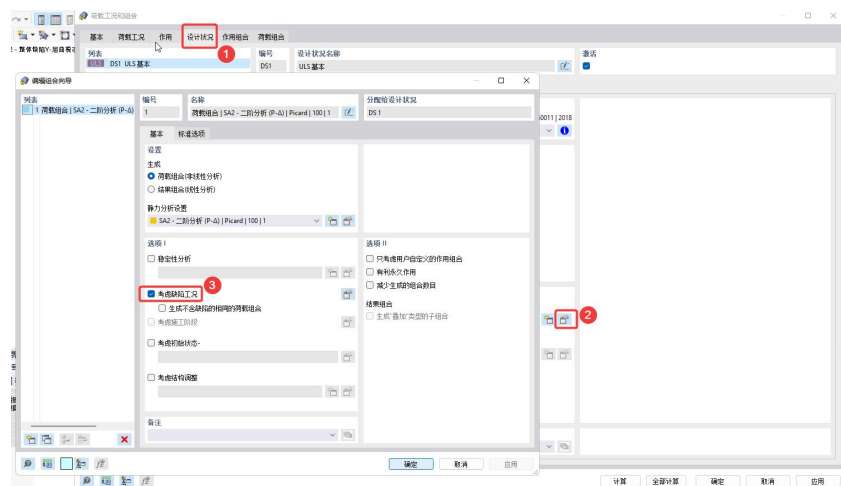
- 切换到“屈曲模态”选项卡。
- 选择屈曲模态来自荷载组合 CO9。

- 缺陷分布模式来自于 3 号模式，为 X 向整体变形。
- 缺陷方向改为 XL。因为屈曲模态的变形可能有其他方向的分量，此处只考虑 X 向缺陷，因此勾选 XL。如果是大跨空间结构，建议勾选 S:空间的，三个方向的分量都考虑。
- 缺陷最大值处侧移为  $H/250=7000/250=28\text{mm}$ 。

## 4) 创建缺陷工况：整体缺陷 X-屈曲模态



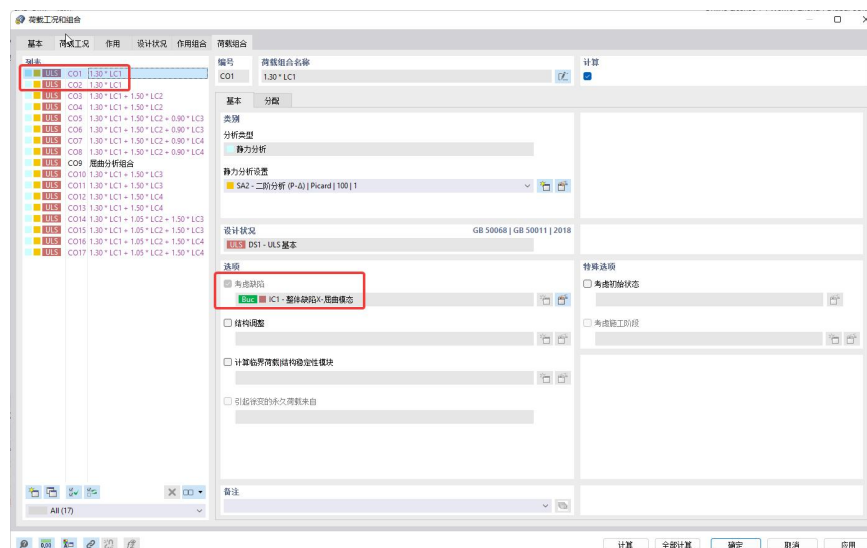
## 4) 设计状况 1 的组合向导里勾选“考虑缺陷工况”



默认只生成考虑缺陷的组合，如果要对比没有缺陷和有缺陷的结果，可以勾选“

生成不含缺陷的相同的荷载组合”。

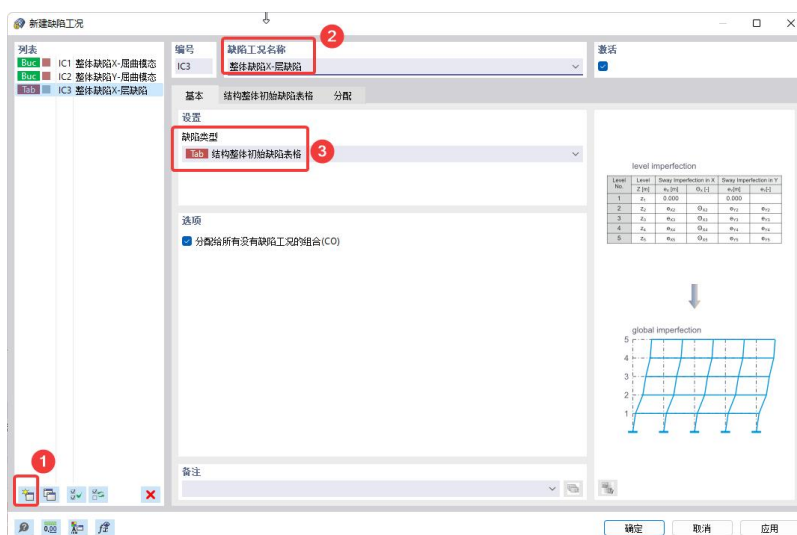




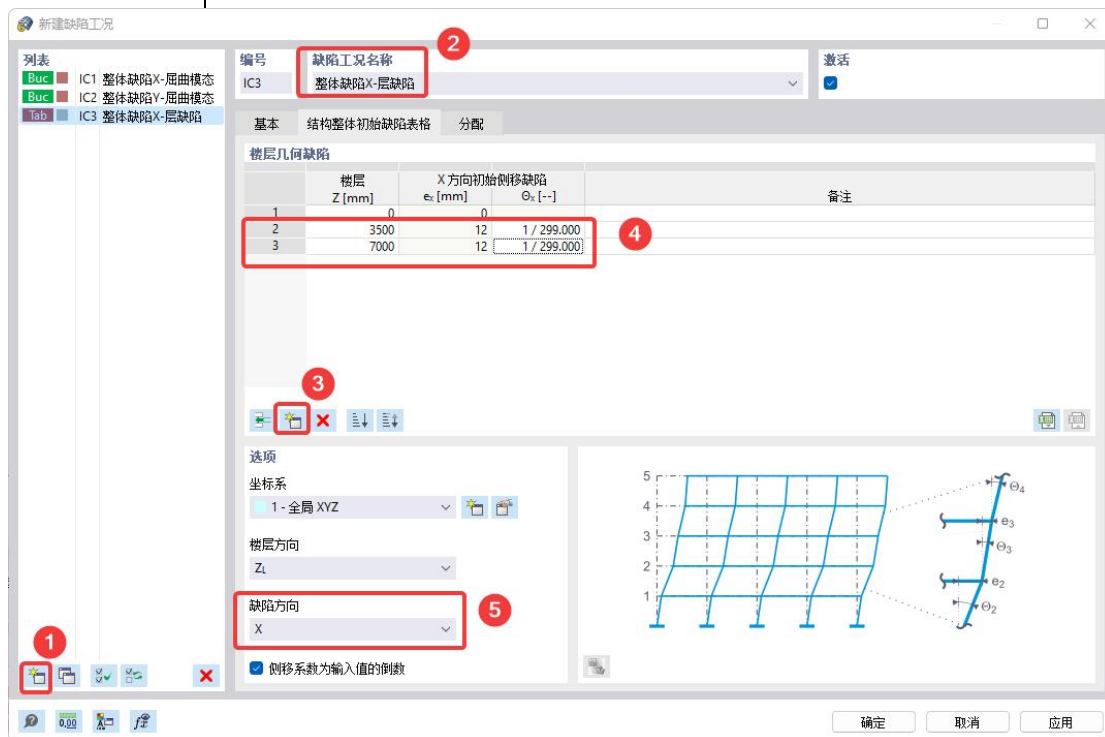
再去看荷载组合，你会发现之前自动生成的 8 个组合（紫色字体）变成了 16 个，因为每个组合都考虑了两种缺陷情况，一种整体 X，一种整体 Y，这样设计用的内力就都考虑了缺陷了。而荷载组合 CO9 是通过复制生成的，算自定义的组合（因此字体是黑色的），不是有组合助手自动生成的，不受组合助手的影响，只用于屈曲分析得到模态。

### 3. 软件实现-方法 B-1:按层执行公式 5.2.1-1

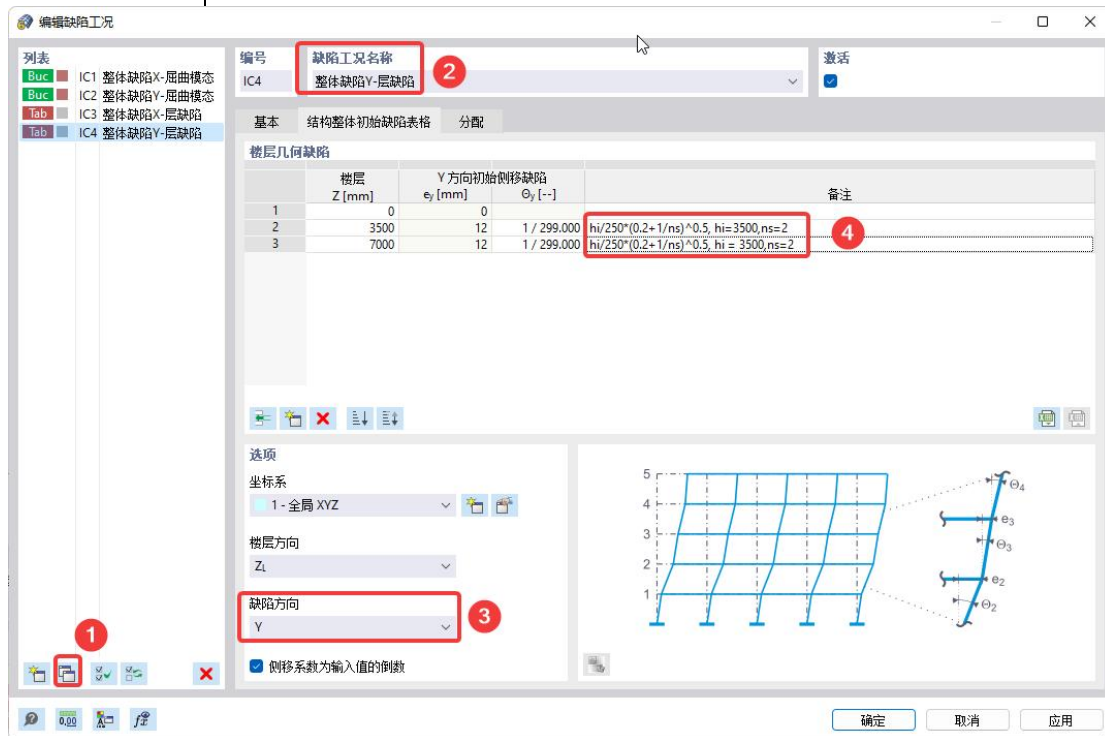
本方法按照层添加整体侧移缺陷，每一层缺陷的大小根据公式 5.2.1-1 来计算。



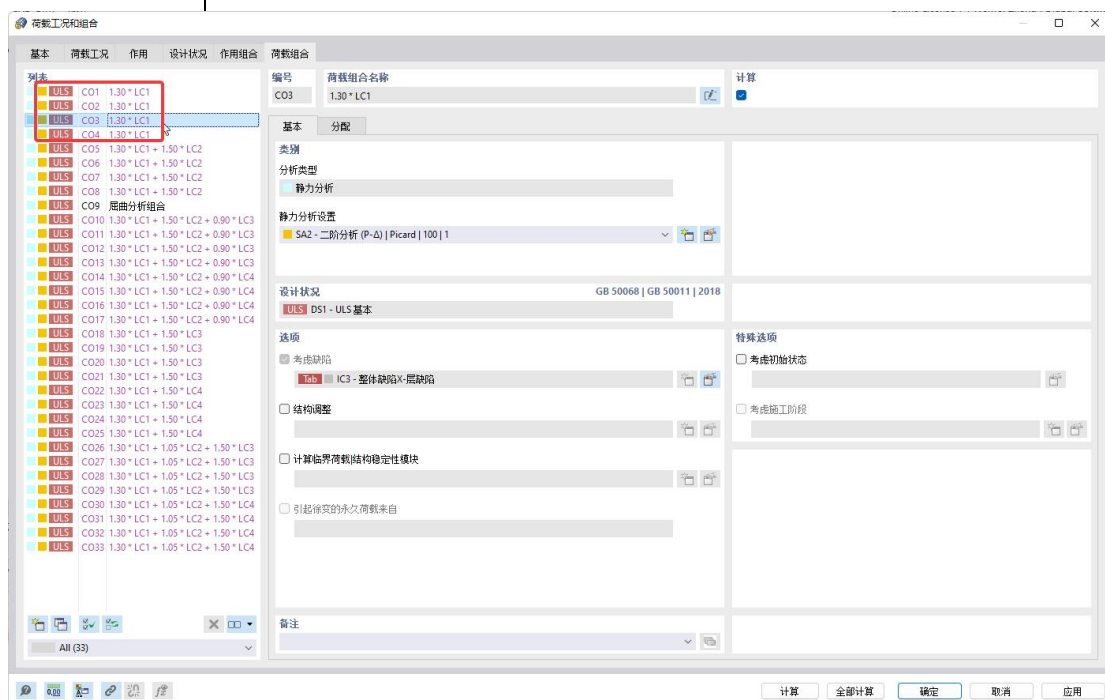
- 新建一个缺陷工况
- 名称改为“整体缺陷 X-层缺陷”
- 缺陷类型“结构整体初始缺陷表格”



- 新建一个缺陷工况
- 名称改为“整体缺陷 X-层缺陷”
- 添加新的楼层缺陷，添加两次
- 一层标高输入 3500，二层标高 7000， $\Theta_x$  输入公式 5.2.1-1 的分母就行，即  $250 / \sqrt{0.2 + \frac{1}{2}} = 299$ ，程序自动转化成  $1/299$ ，然后乘以层高 3500，等于 12mm，那么顶层的缺陷就是 24mm，而前面方法 A 因为没有考虑层高修正，所以方法 A 偏保守些。
- 缺陷方向改为 X



- 复制一个缺陷工况
- 名称改为“整体缺陷 Y - 层缺陷”
- 缺陷方向改为 Y
- 备注里可以添加该缺陷值大小怎么计算出来，当然也可以不写



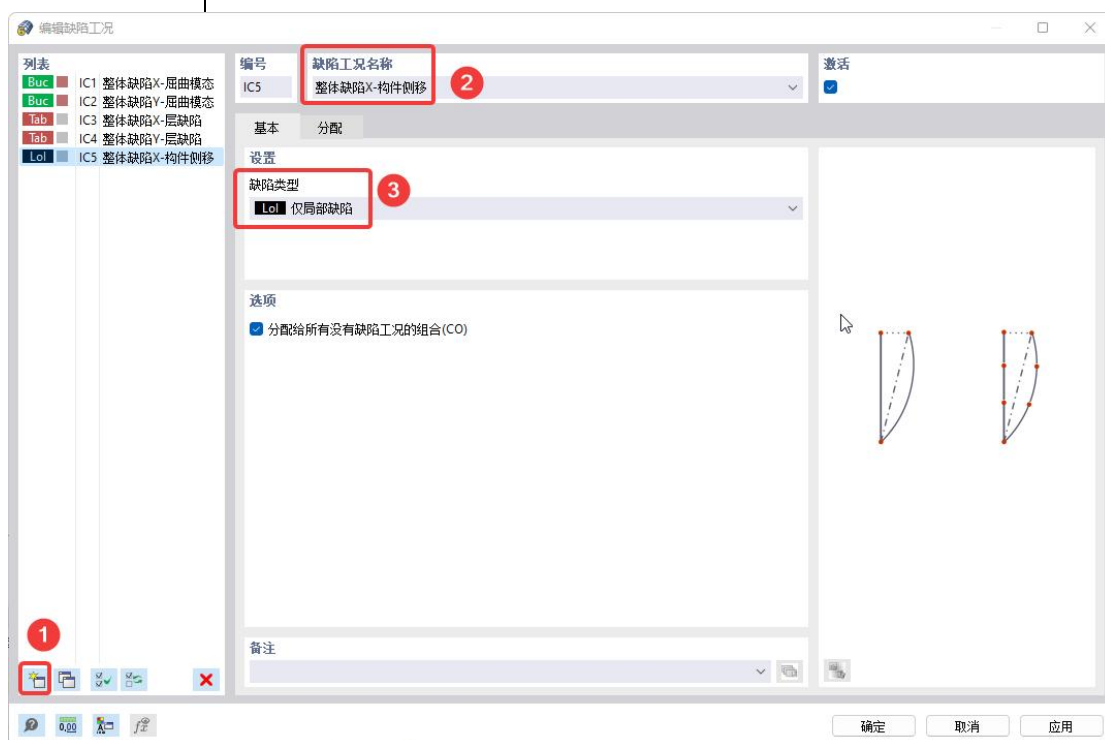
回到荷载组合里，你会发现每一个荷载组合考虑了四种整体缺陷。当然实

际项目中一般考虑两种即可。如果不想考虑哪种缺陷，可以在前面定义缺陷工况的时候，取消勾选“分配给所有没有缺陷工况的组合”，这样无需删除该缺陷就能让组合不考虑它，想考虑的时候再勾上即可。

如果想让列表中黑色字体的屈曲分析组合 CO9 放在列表最后，可以在前面复制荷载组合的时候，把编号修改为一个很大的数字比如 1000。

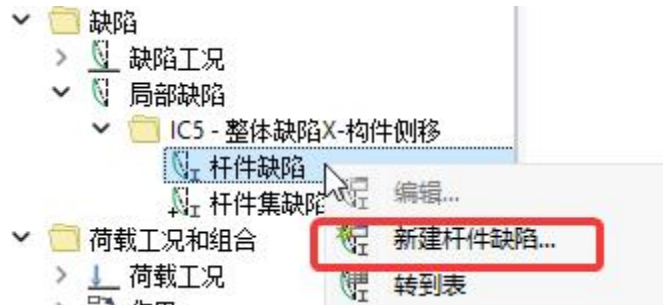
## 4. 软件实现-方法 B-2:按构件执行公式 5.2.1-1

前面方法 B-1 是按照**一整层**添加侧移缺陷的，方法 B-2 则是按照**构件层**次添加侧移缺陷，你可以选择哪些构件添加侧移，哪些不添加侧移，好处就是程序自动考虑层数修正系数  $\sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}}$ 。

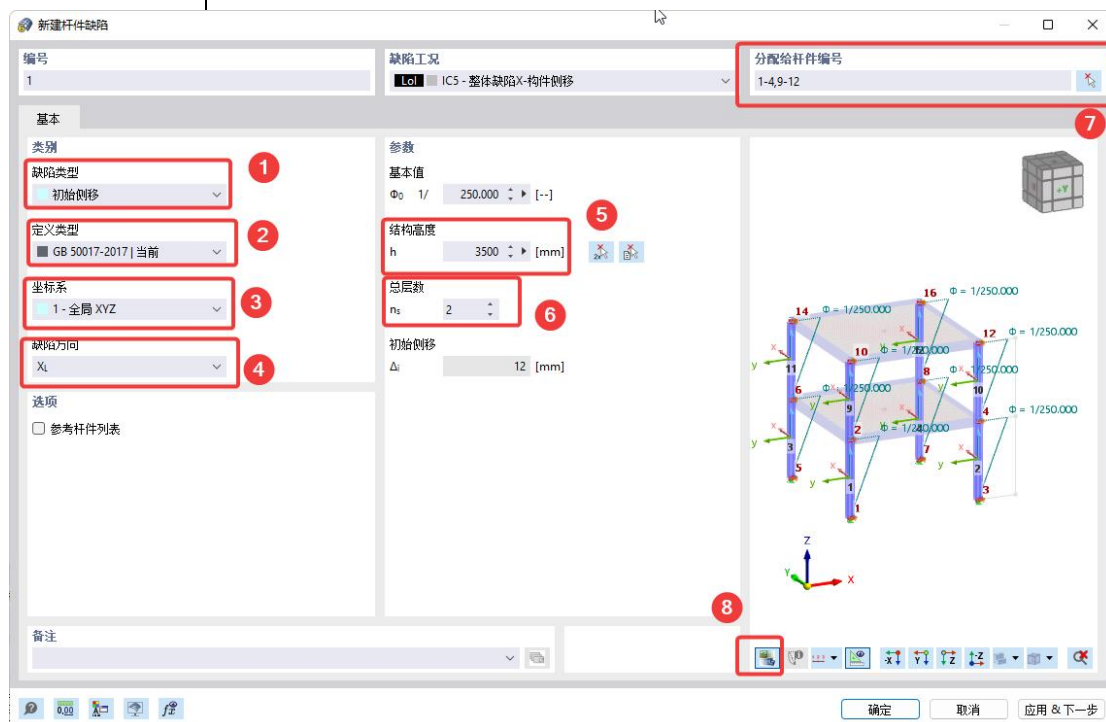


- 新建缺陷工况
- 名称改为“整体缺陷 X-构件侧移”
- 缺陷类型“仅局部缺陷”（此处容易引起误解，此处的局部二字是构件

相对于整体模型是局部的意思，并不是局部弯曲缺陷的意思。通过右侧的示意图可见，该类型的缺陷包含侧移和局部弯曲，如果所有竖向构件都添加侧移缺陷，那么就是整体侧移缺陷了。)



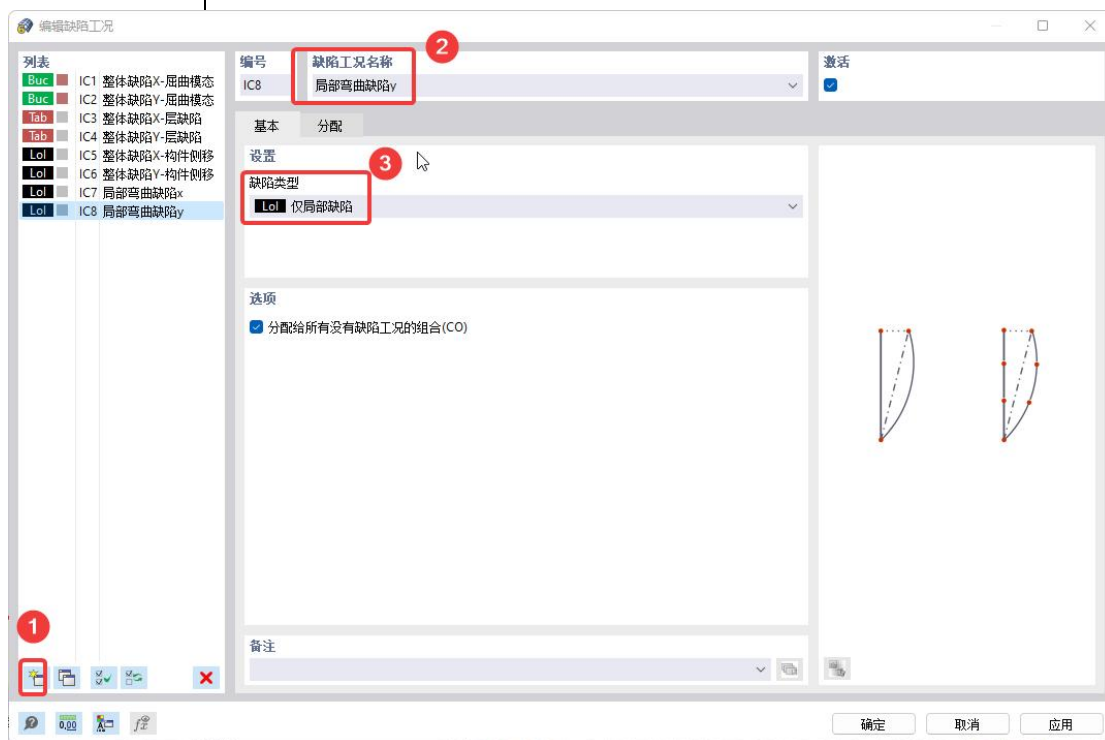
- 与前面定义缺陷有所不同，前面整体缺陷定义时，只需要在“缺陷工况”里定义数据，杆件层次的缺陷需要在“局部缺陷”里在相应的缺陷工况里找到杆件缺陷，右键“新建杆件缺陷”。



- 缺陷类似：初始侧移（此功能还可以添加局部弯曲，后面讲解）
- 定义类型：GB 50017-2017 | 当前（还可以按照绝对值、假想荷载等方式）

- 坐标系：全局 XYZ（还可以按照局部坐标方向）
- 缺陷方向 X（还可以输入反方向）
- 结构高度 h: 3500 (此处理解为杆件高度)
- 总层数：2
- 分配给杆件编号：拾取所有柱子（如果每层柱子高度不一致，需要分批添加）
- 点击在静态和动态图像之间切换，可以在该对话框内预览添加的情况

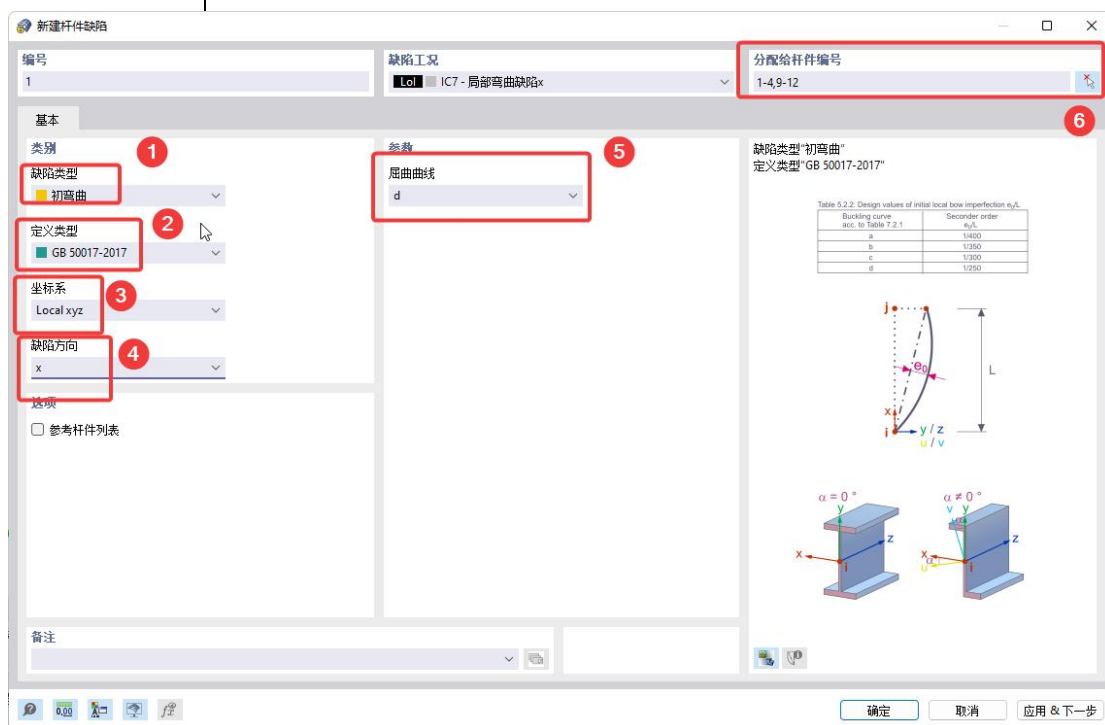
### 三、局部弯曲缺陷如何考虑



与前面添加侧移缺陷的方法 B-2 类似，这里也是新建“仅局部缺陷”类型的缺陷工况。



然后在“局部缺陷”项里找到相应的缺陷工况，然后杆件缺陷右键“新建杆件缺陷”。当然也可以在如下图中缺陷工况里修改杆件缺陷所在缺陷工况。



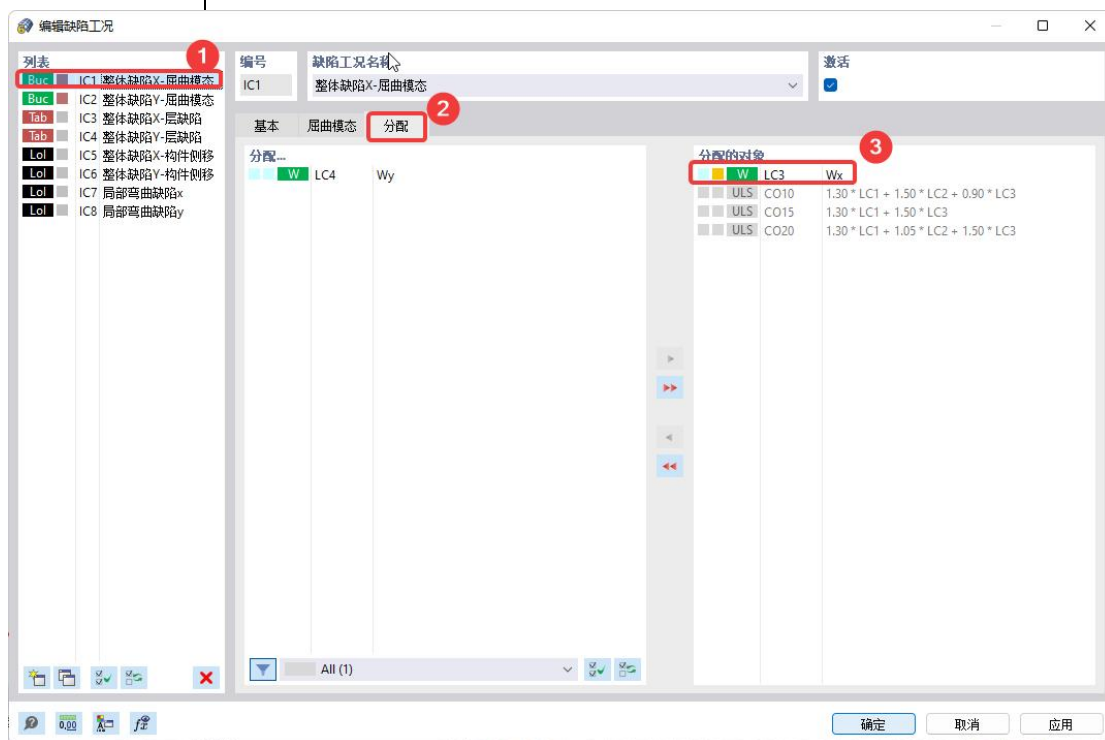
- 缺陷类型：初弯曲
- 定义类型：GB 50017-2017(也可按照杆件的相对长度或缺陷绝对大小输入)



- 坐标系: Local xyz
- 缺陷方法: x (杆件截面方向是 xy, 还是 yz, 是可以在基本数据>设置和选项里设置的。)
- 屈曲曲线 (根据规范判断截面类型, d 类曲线缺陷值最大)

## 四、常问题解答

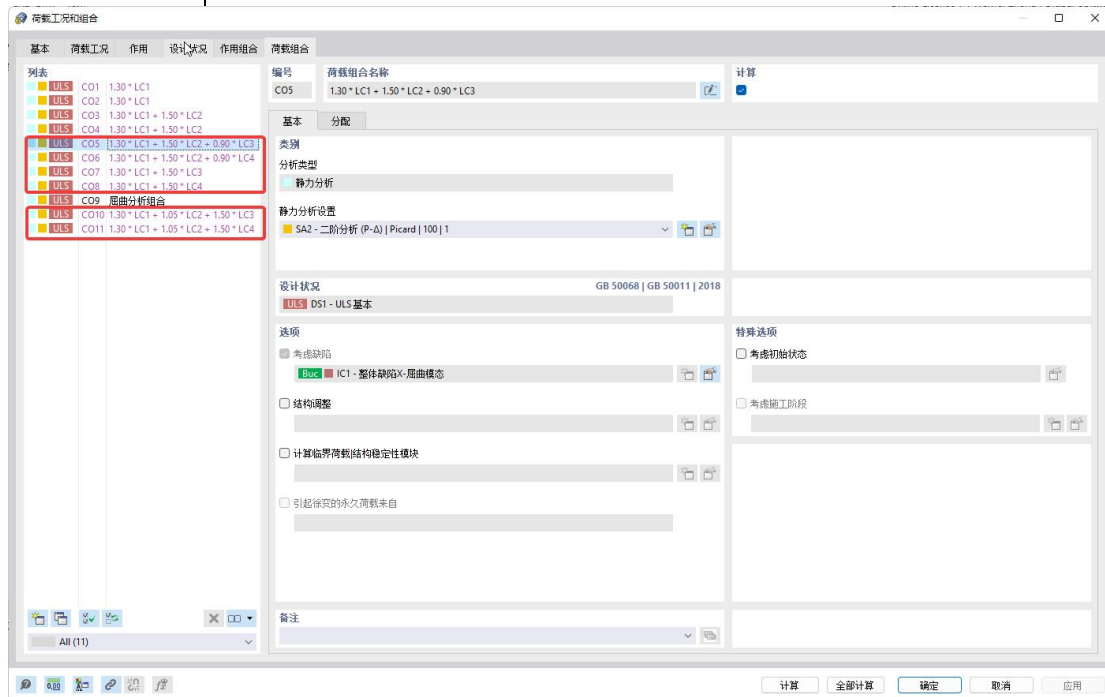
### 1. 如何实现 X 向水平力组合只考虑 X 向整体缺陷?



- 选择 X 向整体缺陷工况
- 分配选项卡
- 将 X 向水平力的工况 Wx 勾选到右边, 这样含有 Wx 的组合才会考虑 X 向侧移缺陷

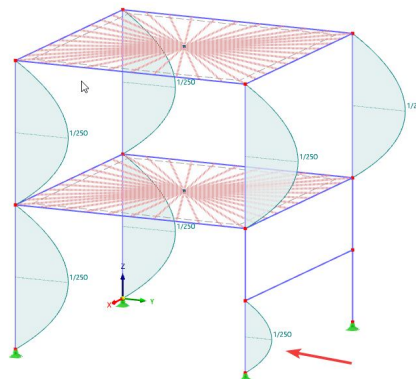


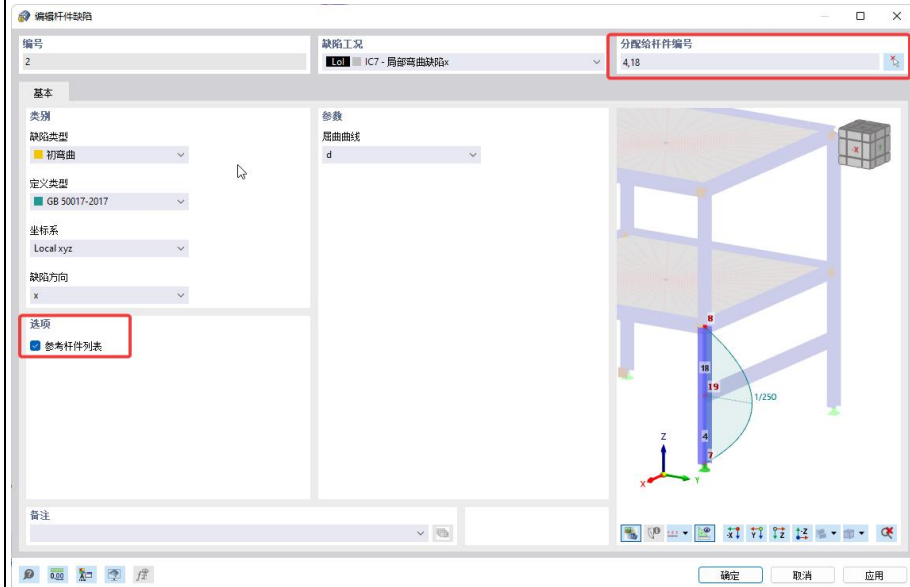
- 同样将  $W_y$  分配给 Y 向整体缺陷工况即可。
- 没有水平力的组合还是会两个方向的缺陷



- 设置后来到了荷载组合可见，C05-8,C10-11 含有水平力工况，都只考虑了一个方向的侧移缺陷。而 1.3Dead 和 1.3Dead+1.5Live 没有水平力，考虑了两个方向的侧移缺陷。

## 2. 构件被打断后, 如何能按照全长度添加弯曲缺陷?

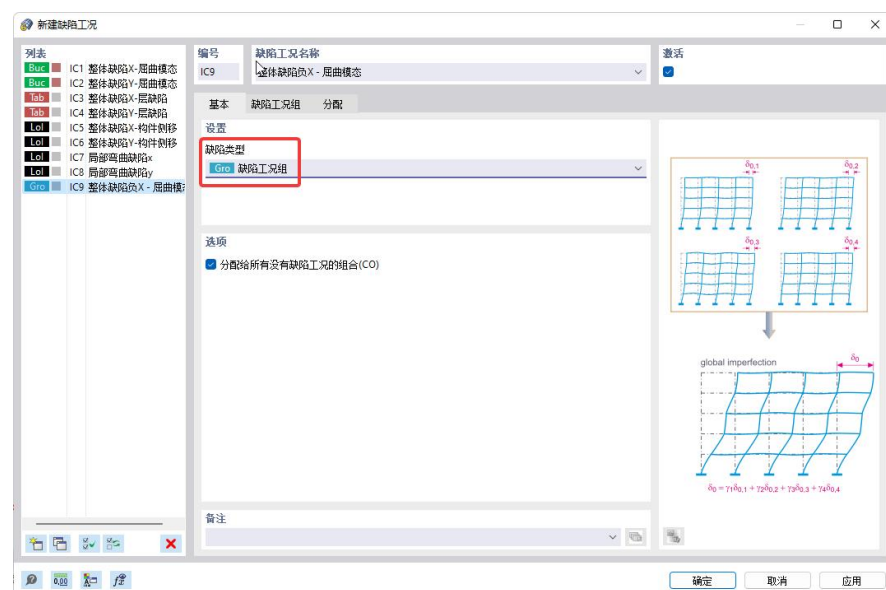


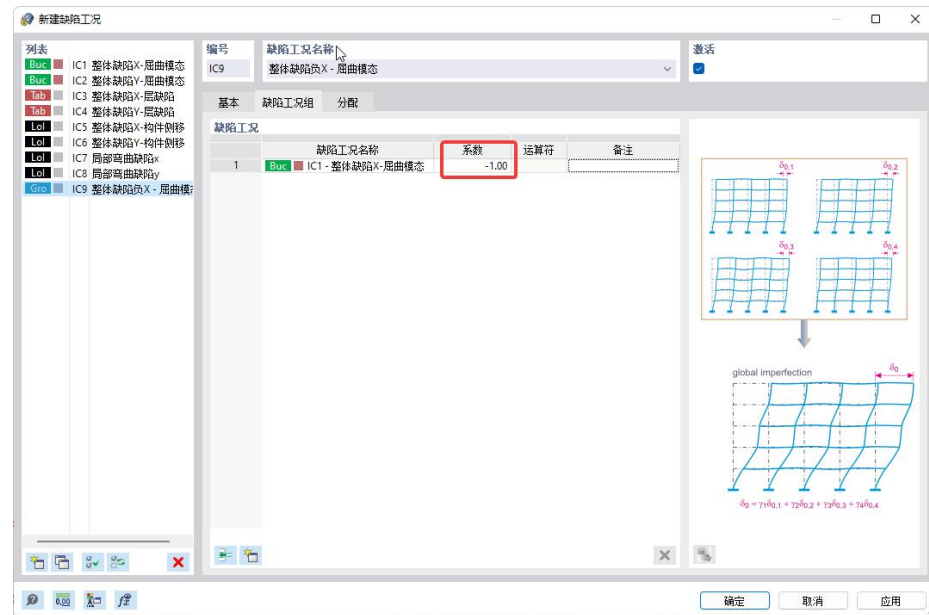


- 构件局部弯曲缺陷添加的时候勾选“参考杆件列表”
- 分配构件的时候，勾选被打断的两个构件

### 3. 按照屈曲模态添加整体缺陷时，如何考虑反方向？

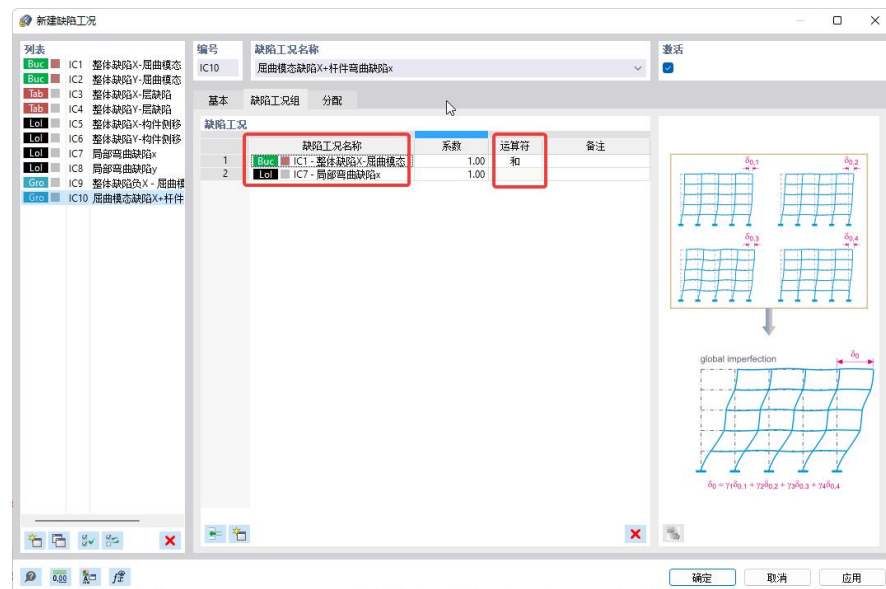
按照屈曲模态添加整体缺陷时，不能输入负的缺陷值。但是可以通过缺陷工况组的功能。



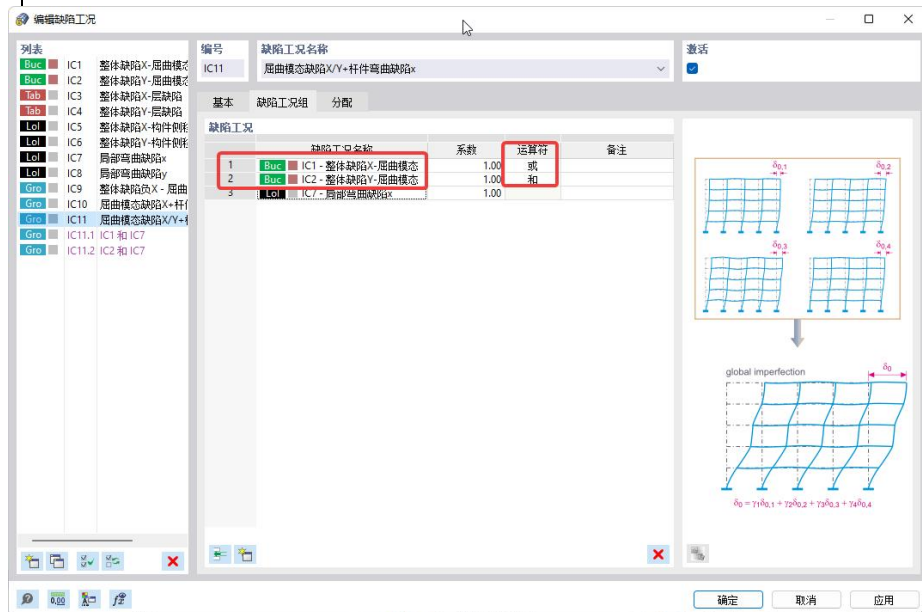


#### 4. 如何同时考虑屈曲模态缺陷和杆件局部弯曲缺陷？

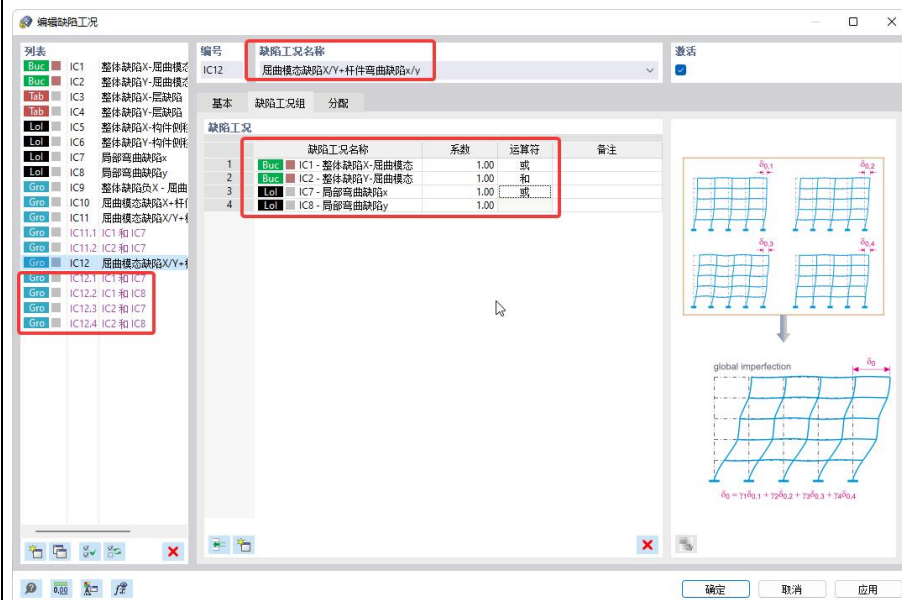
还是通过缺陷工况组。将前面定义的屈曲模态整体缺陷或者层侧移缺陷与杆件局部弯曲缺陷进行组合。



➤ 注意运算符为“和”。



- 也可以用一个缺陷组定义两个子缺陷组合，第一个运算符用”或”第二个用”和”，表示整体缺陷 X+局部弯曲缺陷 x，整体缺陷 Y+局部弯曲缺陷 x 两种缺陷组合。在左边列表中可见 IC11 下面有两个自动生成的 IC11.1 和 IC11.2。



如上图所示，一个缺陷组定义了四个子缺陷组，分别是 IC1+IC7，IC1+IC8，IC2+IC7，IC2+IC8。

## 5. 各个杆件局部弯曲缺陷如何组合才最不利？

每个杆件都可以添加四个方向的局部弯曲缺陷,不同的弯曲缺陷组合会产生不同的效果,可能有利,也可以不利。

对于层结构来说,柱子最大弯矩一般在柱端部,验算时控制截面也在端部,即使添加了局部弯曲缺陷造成中部弯矩增大一点,可能也不是主控作用,这种情况下建议用二阶法,只考虑整体缺陷,局部缺陷通过计算长度取 1.0 在构件稳定验算中考虑。

对于大跨空间结构来说,比如张弦梁的弦杆,单层网壳的杆件,局部缺陷方向定义为竖向肯定更不利,因为恒活荷载产生的弯矩就是竖向的,局部竖向弯曲缺陷可以增大弯矩设计值。