

# 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。

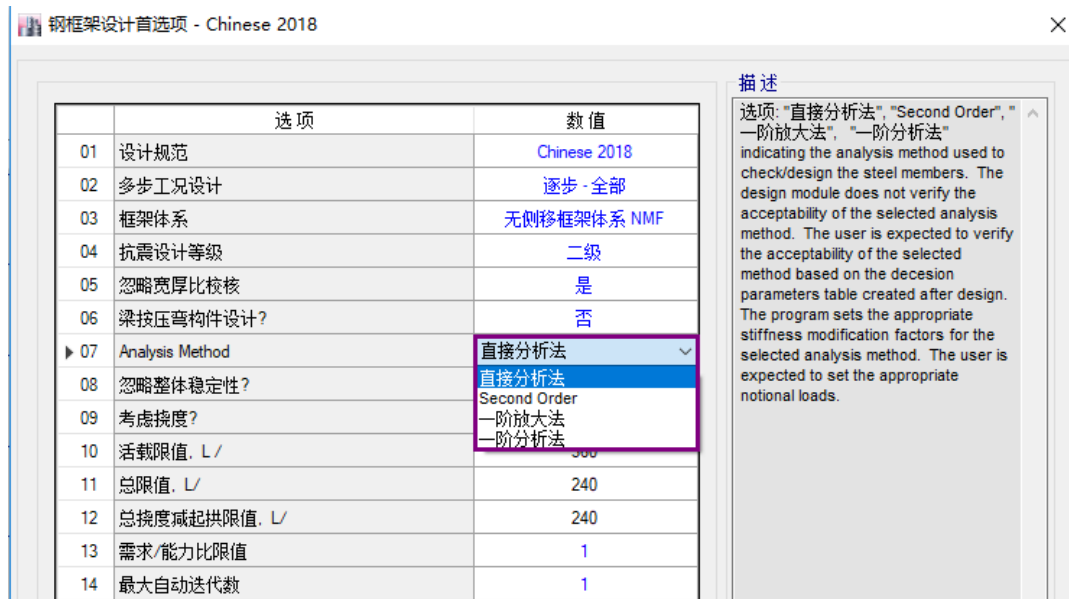


图 1 稳定设计方法选择

对于不同设计方法，用户需要在程序中进行相应的设置，表 1 中，列出了不同设计方法的设置需求。

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 φ	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

本文以直接分析法为例，简单介绍钢结构设计的整体流程。

## 1. 结构整体初始几何缺陷

新钢标允许通过在每层柱顶施加假想水平力等效考虑结构整体初始几何缺陷。在 ETABS 中，用户需要设置名义荷载来考虑结构整体初始几何缺陷。按新钢标公式 5.2.1-2 的要求，用户需要在荷载比率中输入

$\frac{1}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}}$  的计算值，如图 2 与图 3。

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

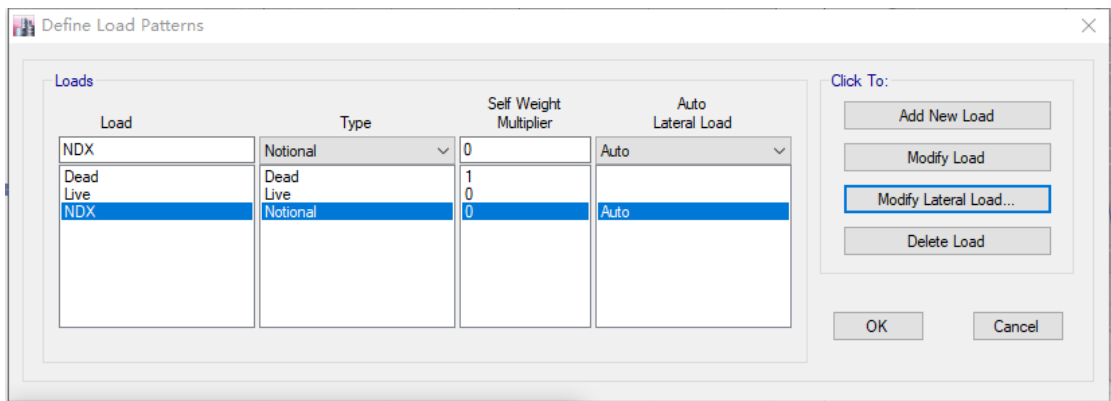


图 2 名义荷载

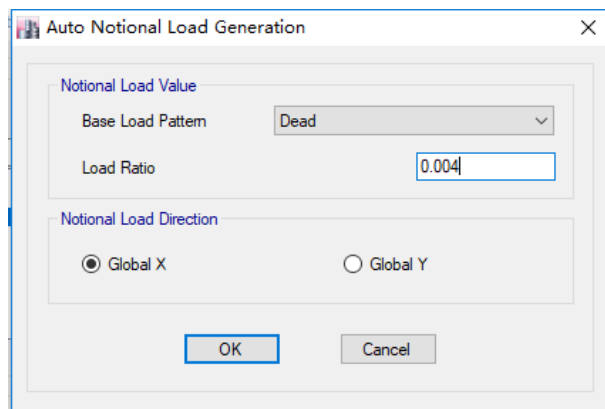


图 3 名义荷载设置

需要注意的是，用户应考虑所有重力荷载的在 X 和 Y 方向的名义荷载，名义荷载在荷载组合中的荷载分项系数与对应的荷载工况是相同的。并且 X 和 Y 方向的初始缺陷同时只考虑一个方向，但需考虑正负方向可能引起的最不利效应，程序中默认荷载组合已考虑以上情况。

同时新钢标也允许框架或大跨结构按最低阶屈曲模态施加初始几何缺陷。用户可以通过修改未变形几何功能实现。如图 4。

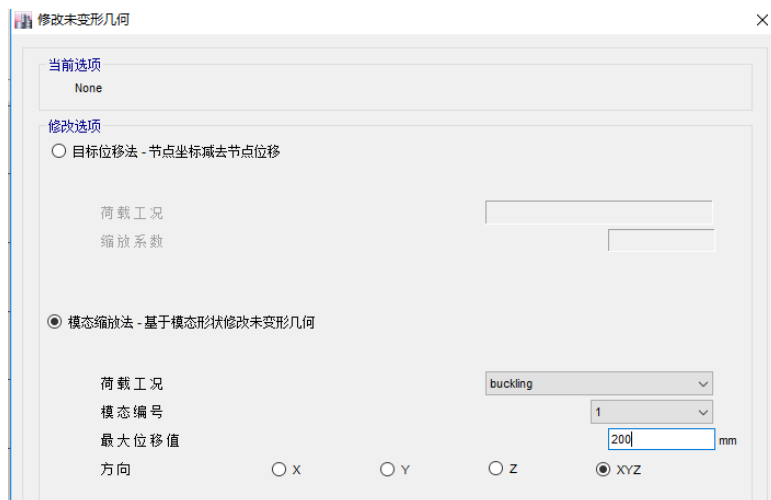


图 4 直接施加初始几何缺陷

## 2. P-Δ 效应

P-Δ 效应通常是指重力荷载在节点的侧向位移下产生的附加效应，如图 5。由于 P-Δ 分析需要考虑几何非线性，对于非线性工况而言，原则上是不可以进行叠加的，因此需要将荷载组合直接转换为非线性工



况进行分析，如图 6 和图 7。

上述方法虽然可以解决非线性工况无法叠加的情况，但是过于繁琐，并且不适用于包含反应谱工况的组合。而对于绝大多数工程，只考虑一组荷载（一般为重力荷载）下的 P- $\Delta$  效应是足够，所有使用这套 P- $\Delta$  荷载产生的刚度矩阵的分析为线性，这使得所有分析结果对于设计是可以叠加的。

一般情况下，预设的 P- $\Delta$  选项中指定的荷载组合为 1.2DEAD+1.4LIVE 是足够保守的。如果可以确定抗震组合为控制组合，指定的荷载组合为 1.2DEAD+0.6LIVE 也是可行的。如图 8。



图 5 二阶效应分析



图 6 非线性静力工况

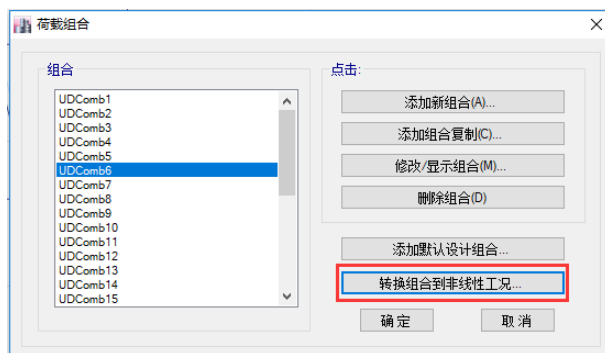


图 7 转换组合到非线性工况

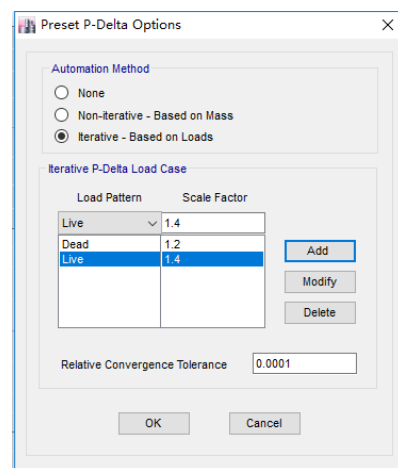
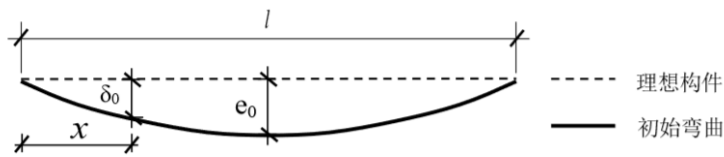


图 8 预设 P- $\Delta$  选项

### 3. 构件初始缺陷

为考虑构件的初始弯曲以及残余应力等的影响，新钢标中要求对构件施加构件的初始缺陷。在程序中，构件的初始缺陷并未直接在分析中进行考虑，而是在设计中以附加弯矩的形式进行考虑的，如图 9 和图 10。



(a) 等效几何缺陷

图9 构件的初始缺陷

Moment Modification						
	Factored Mf	Amplified Mampl	Imperfect. e0/l	Additional Ma = e0*Nk	Adjusted Mampl+Ma	Design Mdesign
Major Bending	8.663E-02	8.663E-02	1/300	12	8.663E-02	8.663E-02
Minor Bending	-8.421E-01	-8.421E-01	1/300	12	-13	-13

图10 考虑构件初始缺陷的附加弯矩

#### 4. P-δ 效应

P-δ 效应通常指在构件轴力在构件挠度下产生的附加效应，如图5。对于承受轴力的柱或梁，当柱或梁上作用有跨间荷载时，构件的 P-δ 效应将不可忽略。用户需要在已考虑 P-Δ 效应的前提下，对构件进行细分来考虑 P-δ 效应。一般情况下，将构件剖分为 3~5 段即可，如图 11。

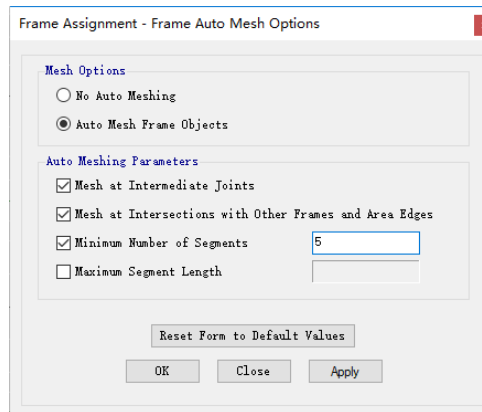


图11 杆件细分

#### 5. 直接分析法截面验算

依照新钢标 5.5.7 条，构件的应力校核可以采用下式计算。

$$\frac{N}{Af} + \frac{M_x''}{M_{cx}} + \frac{M_y''}{M_{cy}} \leq 1.0 \quad (\text{GB50017-2017 5.5.7-1})$$

$$\frac{N}{Af} + \frac{M_x''}{\phi_b W_x f} + \frac{M_y''}{M_{cy}} \leq 1.0 \quad (\text{GB50017-2017 5.5.7-2})$$

新钢标条文说明 5.5.7 条对上述公式进行了进一步的解读，在全面考虑了结构和构件的初始缺陷和几何非线性等对结构和构件内力的影响后，直接分析法截面验算可按下述公式考虑。

$$\frac{N}{A} + \frac{M_x + N(\Delta_x + \Delta_{xi} + \delta_x + \delta_{x0})}{M_{cx}} + \frac{M_y + N(\Delta_y + \Delta_{yi} + \delta_y + \delta_{y0})}{M_{cy}} \leq f$$

其中：

Δ<sub>x</sub>、Δ<sub>y</sub>——由于结构在荷载作用下的变形所产生的构件两端相对位移值。**通过预设 P-Δ 选项考虑。**

Δ<sub>xi</sub>、Δ<sub>yi</sub>——由于结构的整体初始几何缺陷所产生的构件两端相对位移值。**通过名义荷载考虑。**

δ<sub>x</sub>、δ<sub>y</sub>——荷载作用下构件在 x、y 轴方向的变形值。**通过预设 P-Δ 选项考虑和杆件细分考虑。**

δ<sub>xi</sub>、δ<sub>yi</sub>——构件在 x、y 轴方向的初始缺陷值。**在设计中，通过附加弯矩考虑。**