

集成化的通用结构分析与设计软件

SAP2000[®]

**中国2018规范钢框架设计
技术报告**



北京筑信达工程咨询有限公司
北京市石景山区古盛路泰然大厦 408
100043

Version
2021-01

版 权

计算机程序 ETABS 及全部相关文档都是受专利法和版权法保护的产品。全球范围的所有权属于 Computers and Structures, Inc. (中文版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 408100043

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

目录

第 1 章 概述和符号	1
1.1 概述	1
1.2 注释	1
第 2 章 首选项	4
2.1 概述	4
2.2 应用首选项	4
2.3 首选项	5
第 3 章 覆盖项	7
3.1 概述	7
3.2 覆盖项	7
3.3 修改覆盖项	10
3.4 重置覆盖项为默认值	11
第 4 章 截面分类	12
4.1 板件宽厚比等级	12

4.2 轴心受压构件的截面分类	13
4.3 中国型钢库	15
第 5 章 计算长度系数	16
第 6 章 构件承载力设计	18
6.1 概述	18
6.2 承载力抗震调整系数 γ_{RE}	19
6.3 框架梁柱承载力计算	20
6.4 中心支撑承载力计算	21
6.5 偏心支撑承载力计算	21
第 7 章 构造校核	22
7.1 构件截面宽厚比限值	22
7.2 构件长细比限值	24
第 8 章 节点设计	26
第 9 章 分析设计方法	27
9.1 分析方法的选择	27
9.2 初始几何缺陷	28
9.3 P- Δ 工况	31
9.4 P-delta 效应	32
9.6 构件缺陷	32
9.7 直接分析法验算	33

第 1 章 概述和符号

1.1 概述

应用本程序进行钢框架结构设计时，当用户选定设计规范为中国 2018 规范时，设计的过程和一系列参数选择等细节将遵循中国 2018 规范执行。本技术报告列出了规范中所涉及的不同参数的意义。

框架单元设计是基于用户自定义和特定荷载组合的。程序提供了一套默认的中国规范荷载组合，它们可以满足大部分结构形式的需要。

程序提供了是否按抗震设计结构的选择，按照中国规范“三水准两阶段”的设计原则，提供了《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)所使用的地震反应谱。并且按中国 2010 规范所使用的抗震等级设计方法，提供了结构单元抗震等级的选择，而且同一结构中不同构件单元可选择不同的抗震等级。根据中国 2018 规范（包括《钢结构设计规范》(GB50017-2017)、《建筑抗震设计规范》(GB50011-2010)和《高层建筑钢结构技术规程》(JGJ99-2015)等）本程序对钢框架结构梁、柱、支撑分别进行了强度、刚度、稳定性计算和设计。此外，根据本程序的特点，程序提供了中国 2018 规范钢框架结构设计参数选择和覆盖项设置。本技术报告各章对以上内容进行了介绍。

本技术报告中，除了特殊说明外，单位一律按牛-毫米-秒 (N-mm-s) 单位制。

1.2 注释

E --- 钢材的弹性模量；

E_c --- 混凝土的弹性模量；

- G --- 钢材的剪切模量；
- f --- 钢材的抗拉、抗压、抗弯强度设计值；
- f_v --- 钢材的抗剪强度设计值；
- f_y --- 钢材的屈服强度；
- f_c --- 混凝土的抗压强度设计值；
- σ --- 正应力；
- τ --- 剪应力；
- A --- 毛截面面积；
- A_n --- 净截面面积；
- H --- 柱的高度；
- I --- 毛截面惯性矩；
- I_n --- 净截面惯性矩；
- i --- 截面回转半径；
- l --- 计算长度或跨度；
- l_0 --- 弯矩屈曲的计算长度；
- l_1 --- 梁受压翼缘侧向支撑间距离；
- S --- 毛截面面积矩；
- W --- 毛截面模量；
- W_n --- 净截面模量；
- W_p --- 塑性毛截面模量；
- W_{pn} --- 塑性净截面模量；
- λ --- 长细比；
- b --- 板的自由外伸宽度；
- h_w --- 腹板的高度；
- h_0 --- 腹板的计算高度；
- t --- 板的厚度；

K_1, K_2 --- 构件线刚度之比;

μ --- 框架柱的计算长度系数;

γ_{RE} --- 承载力抗震调整系数;

γ_x, γ_y --- 截面塑性发展系数;

第 2 章 首选项

2.1 概述

钢框架结构设计首选项是应用于所用钢框架单元最基本的属性定义。由**设计菜单>钢框架设计>查看/修改首选项**命令来访问钢框架结构设计首选项，在设计规范中选定中国规范 2018（Chinese2018）的基础上,用户将看到并可以修改钢框架结构设计首选项。

程序提供了钢框架结构设计首选项中各项的默认值，用户最好在设计之前检查各默认值，确保其是符合所设计结构的性质的，如果不合适，需用户自己按规范进行相应调整。

2.2 应用首选项

想要察看首选项，选择**设计菜单>钢框架设计>查看/修改首选项**，首选项表格各项将显示出来，其中表格左边一列是各选项的名称，右边一列是其对应的值。

想要改变选项中的值，可以用鼠标左键点击选项名称或默认值。各选项值有两种形式，一种是选择性的，当用户点击时将显示下拉菜单，可以选择其中任何一种选项；另一种形式是数据填写式的，当用户点击时，光标将处于该值位置，等待用户改写。用户不能自由填写选择性的选项。

当所有的选项值均定义完毕后，点击**确认**项，程序将退出首选项菜单，并保留所作修改，如不想保留修改可以点击**取消**项，程序将退出且不保留所作修改。

2.3 首选项

为了更好的解释首选项中各选项的意义，在此把首选项中各项列表如下：

表 1 钢框架设计首选项

No	项	选择值	默认值	备注
1	设计规范	多国规范	Chinese2010	选择设计规范
2	多值工况	包络/逐步/最后步/包络-全部/逐步-全部	包络	设计组合中包含多值工况时如何使用多值工况的结果
3	框架类型	有侧移框架体系SMF /中心支撑框架体系 CBF /偏心支撑框架体系 EBF /无侧移框架体系 NMF	无侧移框架体系 SMF	根据模型是否存在支撑构件以及支撑类型选择。影响柱计算长度、中心支撑构件(JGJ99-2015 7.5.5)抗震设计计算的公式和内力调整以及偏心支撑抗震计算公式
4	高层建筑?	是/否	是	影响长细比、宽厚比要求, JGJ 99-2015 7.1.2 条 Phi-b 系数
5	抗震设计等级	一级/二级/三级/四级 /非抗震	二级	设置钢结构抗震等级, GB 50011-2010 8.1.3
6	结构重要性系数 γ_0		1	
7	忽略宽厚比校核	是/否	是	对应《钢结构设计标准》GB50017 所有对钢构件宽厚比或高厚比限制的验算
8	梁按压弯构件设计?	是/否	否	梁是否按照压弯构件设计
9	忽略 Phi_b?	是/否	否	选择是否忽略梁的整体稳定系数, 若选是, Phi_b 取 1.0
10	分析方法	直接分析法 /二阶分析法 /一阶放大法 /一阶分析法	直接分析法	不同的分析方法将影响是否考虑初始缺陷、二阶效应, 以及计算长度系数、稳定系数 Phi、设计弯矩的取值。
11	稳定系数 Eta_cr		0	该系数指整体结构最低阶弹性临界荷载与荷载设计值的比值, 将影响结构的二阶效应系数、杆件的弯矩增大系数的取值。参见 GB50017-2017 5.1.6、5.4.2。该值一般大于 1, 若取 0 代表稳定系数无穷大。
12	挠度校核?	是/否	否	设计过程是否考虑挠度限值
13	恒载限值 L/	>0	120	恒荷载下的挠度限值, 输入 120 表示限值为 L/120, 输入 0 表示不校核此项。
14				恒+活荷载下的挠度限值, 输入 120

	附加恒+活限值 L/	>0	120	表示限值为 L/120, 输入 0 表示不校核 此项。
15	活载限值 L/	>0	500	附加活荷载下的挠度限值, 输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核此项。
16	总限值 L/	>0	400	总荷载挠度限值。输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核此项。
17	净挠度限值 L/	>0	500	净挠度限值。总荷载挠度减去起拱值, 即得到净挠度。输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核此项。
18	样式活荷载系数	>0	0	考虑连续梁和悬臂梁活荷载不利分布的参数, 一般取默认值
19	应力比限值	>0	1	设定最大应力比。在自动优化设计中作为应力比控制限值, 超出此值将更换截面或给出警告信息

注：可能值：指该选项可以选择值的范围

默认值：指该选项程序默认的值

第 3 章 覆盖项

3.1 概述

钢框架结构设计覆盖项只应用于被选定的钢框架结构单元，本技术注释描述了中国 2018 规范的覆盖项特征。要访问覆盖项，可以选择一个单元然后点击**设计菜单 > 钢框架设计 > 查看/修改覆盖项**命令。

程序已经给各覆盖项指定了默认值，因此用户一般不需要重新指定所有的覆盖项，但为了确保默认值符合用户的要求，最好在执行覆盖设计之前对其浏览一遍。当覆盖项被修改时，程序只将其修改指定给所选择的结构单元，也就是覆盖项改变时被选中的单元。

3.2 覆盖项

为了更好的解释覆盖项中选项的意义，覆盖项选项列表如下：

No	项目	可能值	默认值	备注
1	当前设计截面	所有钢截面	当前截面	可直接修改截面，并按照修改后的截面，基于先前设计内力校核计算
2	框架类型	有侧移框架体系 SMF /中心支撑框架体系 CBF /偏心支撑框架体系 EBF	首选项中的定义	根据模型是否存在支撑构件以及支撑类型选择。影响柱计算长度、中心支撑构件 (JGJ99-2015 7.5.5) 抗震设计计算的公式和内力调整以及偏心支撑抗震计算公式

		/无侧移框架体系 NMF		
3	构件类型	梁/柱/支撑/桁架	程序根据构件空间位置判断	按构件类型选择设计、构造校核公式
4	抗震设计等级	一级/二级/三级/四级/非抗震	首选项中的定义	设置钢结构抗震等级, GB 50011-2010 8.1.3
5	转换构件?	是/否	否	是否为转换构件
6	地震放大系数	≥ 1.0	1	必要时可对特殊构件地震荷载产生的内力进行调整
7	框剪结构剪力调整系数(SMF)		1	框架承担最小地震剪力调整系数对应 JGJ3-2010 8.1.4
8	截面类别 - 轧制截面?	是/否	是	截面是否为轧制截面, 用于判断截面类型, 参见 GB 50017-2003 表 5.1.2-1
9	截面类别-翼缘焰切边?	是/否	否	截面翼缘是否为焰切边, 用于判断截面类型, 参见 50017-2003 表 5.1.2-1
10	稳定系数 φ_b -两端铰接?	是/否	否	指定钢梁是否仅以腹板与柱或主梁连接, 参见 JGJ99-2015 7.1.2
11	稳定系数 φ_b -上翼缘加载?	是/否	是	梁上荷载是作用于梁上翼缘或下翼缘, 用于梁的整体稳定系数计算, 参见 50017-2003 附录 B
12	忽略宽厚比较核	是/否	是	是否忽略 b/t 的验算
13	梁按压弯构件设计?	是/否	否	梁是否按照压弯构件设计
14	挠度校核?	是/否	首选项中的定义	设计过程是否考虑挠度限值
15	挠度校核类型	比率/绝对值/双控	首选项中的定义	选择挠度校核限值的类型
16	恒载限值 L/	>0	首选项中的定义	恒荷载下的挠度限值, 输入 120 表示限值为 L/120, 输入 0 表示不校核 此项。
17	附加 恒+活 限值 L/	>0	首选项中的定义	恒+活荷载下的挠度限值, 输入 120 表示限值为 L/120, 输入 0 表示不 校核此项。
18	活载限值 L/	>0	首选项中的定义	附加活荷载下的挠度限值, 输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核此项。
19	总限值 L/	>0	首选项中的定义	总荷载挠度限值。输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核 此项。
20	净挠度限值 L/	>0	首选项中的定义	净挠度限值。总荷载挠度减去起拱值, 即得到净挠度。输入 240 表示限值为 L/240, 输入 0 表示不校核此项。

21	恒载限值, 绝对	>0	首选项中的定义	恒载挠度限值。输入 0 表示不校核此项。
22	附加 恒+活 限值, 绝对	>0	首选项中的定义	恒载+活载挠度限值。输入 0 表示不校核此项。
23	活载限值, 绝对	>0	首选项中的定义	附加活荷载下的挠度限值。输入 0 表示不校核此项。
24	总限值, 绝对	>0	首选项中的定义	总荷载挠度限值。输入 0 表示不校核此项。
25	净挠度限值, 绝对/	>0	首选项中的定义	净挠度限值。总荷载挠度减去起拱值, 即得到净挠度。输入 0 表示不校核此项。
26	指定起拱值 mm	≥ 0	0	自定义的起拱量
27	净截面与毛截面面积比		0.9	净截面与毛截面面积的比值
28	活荷载折减系数	≥ 0	0	考虑连续梁和悬臂梁的活荷载折减系数
29	无支撑长度比(主)	≥ 0	程序计算	构件在主轴方向上, 相邻两个支撑间净距离与构件长度的比值
30	无支撑长度比(次)	≥ 0	程序计算	构件在次轴方向上, 相邻两个支撑间净距离与构件长度的比值
31	有效长度系数(μ 主)	≥ 0	程序计算	JGJ99-98 公式 6.3.2 的计算长度系数
32	有效长度系数(μ 次)	≥ 0	程序计算	JGJ99-98 公式 6.3.2 的计算长度系数
33	弯矩增大系数 (AlphaII 主)	≥ 0	首选项中的定义	杆件主轴弯矩的增大系数, 参见 GB50017-2017 5.4.2。该系数只对“一阶放大法”有效。
34	弯矩增大系数 (AlphaII 次)	≥ 0	首选项中的定义	杆件次轴弯矩的增大系数, 参见 GB50017-2017 5.4.2。该系数只对“一阶放大法”有效。
35	轴向稳定系数 (Phi 主)	≥ 0	程序计算	轴心受压构件的稳定系数 (主轴)
36	轴向稳定系数 (Phi 次)	≥ 0	程序计算	轴心受压构件的稳定系数 (次轴)
37	弯曲稳定系数 (Phi_b 主)	≥ 0	程序计算	受弯构件整体稳定系数 (主轴)
38	弯曲稳定系数 (Phi_b 次)	≥ 0	程序计算	受弯构件整体稳定系数 (次轴)
39	弯矩系数 (Beta_m 主)	≥ 0	程序计算	等效弯矩系数 Beta_m 主, 参见 GB50017-2017 8.2.5
40	弯矩系数 (Beta_m 次)	≥ 0	程序计算	等效弯矩系数 Beta_m 次, 参见 GB50017-2017 8.2.5
41	弯矩系数 (Beta_t 主)	≥ 0	程序计算	等效弯矩系数 Beta_t 主, 参见 GB50017-2017 8.2.5

42	弯矩系数 (Beta_t 次)	≥0	程序计算	等效弯矩系数 Beta_t 次, 参见 GB50017-2017 8.2.5
43	塑性发展系数(γ主)	≥0	程序计算	截面塑性发展系数(主轴 γ _x), 50017-20034.1.1
44	塑性发展系数(γ次)	≥0	程序计算	截面塑性发展系数(次轴 γ _y), 50017-20034.1.1
45	截面影响系数(η)	1/0.7	1/0.7	考虑开口截面的影响系数 η, 参照 50017-2003 公式 5.2.2-3
46	强柱弱梁系数(η)	≥0	程序计算	GB50011-2010 8.2.5-1 的强柱系数 η。如果要忽略强柱弱梁的校核, 可将此数值设为“0”
47	受压长细比限值	≥0	程序计算	程序默认按 GB50017-2003 5.3.8 和 GB50011-2010 8.3.1 计算
48	受拉长细比限值	≥0	程序计算	程序默认按 GB50017-2003 5.3.9 计算
49	屈服强度 F _y , MPa	≥0	0	钢材标准强度, 为“0”表示采用材料定义处的强度
50	正应力设计强度 f, MPa	≥0	0	钢材抗拉、抗压、抗弯强度设计值, 为“0”表示采用材料定义处的强度
51	剪应力设计强度 f _v , MPa	≥0	0	钢材的抗剪屈服强度, 为“0”表示采用材料定义处的强度
52	考虑假设的剪力?	是/否	否	如果为 Yes, 则取按照轴心受压构件计算的剪力(50017-20035.1.6 条) 和实际设计剪力的较大值, 作为设计剪力。如果为 No, 则不引入 50017-20035.1.6 条
53	应力比限值	>0	首选项中的定义	设定最大应力比。在自动优化设计中作为应力比控制限值, 超出此值将 更换截面或给出警告信息

注：可能值，指该选项可以选择值的范围。

默认值，指该选项程序默认的值。

3.3 修改覆盖项

要访问覆盖项，可以选择一个单元然后点击**设计菜单 > 钢框架设计 > 查看/修改覆盖项**命令。

覆盖项是由一系列项目名称和一个数据表格组成的，其中表格左列是各选项的编号和名称，右列是其相对应的值。

要修改选项中的某值，点击该项目的“值”一栏即可进行修改。

各选项值有两种形式，一种是选择性的，当用户点击时将显示下拉菜单，可以选择其中任意一种选项；另一种形式是数据填写式的，当用户点击时，光标将处于该值位置，等待用户改写。用户不能自由填写选择性的选项。

当所有的覆盖项值均定义完毕后，点击**确认**项，程序将退出覆盖项选择菜单，并在选中的框架单元上显示并保留所选覆盖项的修改。如不想保留修改可以点击**取消**项，程序将退出且不保留所作修改。

3.4 重置覆盖项为默认值

应用**设计菜单 > 钢框架设计 > 重置所有覆盖项**命令可以对所有钢框架单元重新定义所有覆盖项内容，如果这一命令被执行，所有单元所有覆盖项将恢复成默认值，并且所有当前设计结果都将被删除。

关于重置覆盖项的重要提示：程序覆盖项默认值是建立在程序内部的。当钢框架结构覆盖项值是用户用以往的*.edb文件来初始化时，它可能不同于程序内置的覆盖项默认值。当用户运行重置覆盖项命令时，程序将重置覆盖项为程序内置的覆盖项默认值，而不是用户初始化模型时的那个*.edb中的值。

第 4 章 截面分类

本技术报告描述了程序如何根据中国 2018 规范在计算中考虑构件截面分类的。

4.1 板件宽厚比等级

进行受弯和压弯构件计算时，截面板件宽厚比等级及限值应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 中表 3.5.1 的规定。程序按该规定验算，并在设计细节中输出宽厚比等级。

表 4-1 压弯和受弯构件的截面板件宽厚比等级及限值

构件	截面板件宽厚比等级	S1 级	S2 级	S3 级	S4 级	S5 级
压弯构件 (框架柱)	翼缘 b/t	$9 \varepsilon_k$	$11 \varepsilon_k$	$13 \varepsilon_k$	$15 \varepsilon_k$	20
	H 形截面 腹板 h_0/t_w	$(33+13\alpha_0^{1.3})\varepsilon_k$	$(38+13\alpha_0^{1.39})\varepsilon_k$	$(40+18\alpha_0^{1.5})\varepsilon_k$	$(45+25\alpha_0^{1.66})\varepsilon_k$	250
	箱型截面 壁板(腹板) 间翼缘 b_0/t	$30 \varepsilon_k$	$35 \varepsilon_k$	$40 \varepsilon_k$	$45 \varepsilon_k$	—
	圆钢管截面 径厚比 D/t	$50 \varepsilon_k^2$	$70 \varepsilon_k^2$	$90 \varepsilon_k^2$	$100 \varepsilon_k^2$	—

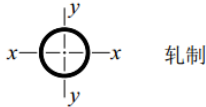
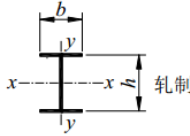
受弯构件 (梁)	工字形截面	翼缘 b/t	$9 \varepsilon_k$	$11 \varepsilon_k$	$13 \varepsilon_k$	$15 \varepsilon_k$	20
		腹板 h_0/t_w	$65 \varepsilon_k$	$72 \varepsilon_k$	$93 \varepsilon_k$	$124 \varepsilon_k$	250
	箱型截面	壁板(腹板) 间翼缘 b_0/t	$25 \varepsilon_k$	$32 \varepsilon_k$	$37 \varepsilon_k$	$42 \varepsilon_k$	—


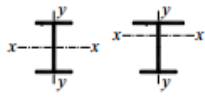
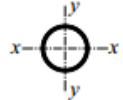
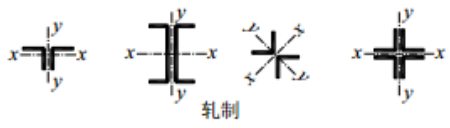
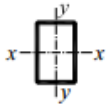
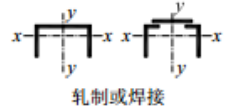
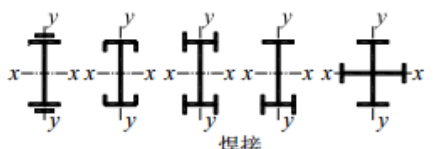

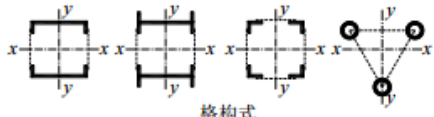
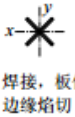



规范只针对有限的截面类型作了规定，对于规范没有明确要求的截面类型，比如 T 形、L 形、双角钢等等，程序依据规范原则进行了扩展，设置如下补充约定：对于 L 形截面，默认采用 H 形截面或工字形截面对于翼缘的规定。对于 T 形、双角钢，分四种情况考虑：1) 轴力为压力且弯矩为正，此时翼缘受压，默认对其采用 H 形截面或工字形截面对翼缘的规定；2) 轴力为拉力且弯矩为负，此时翼缘受拉，默认翼缘为 S1；3) 轴力为压力且弯矩为负，此时腹板受压，默认对其采用 H 形截面或工字形截面对翼缘的规定；4) 轴力为拉力且弯矩为正，此时腹板的外肢端受到很大的拉力且受压区范围很小，可近似对腹板采用受弯构件工字形截面对腹板的规定。

4.2 轴心受压构件的截面分类

程序按照《钢结构设计标准》GB50017-2017 中表 7.2.1-1 的规定进行构件截面类型划分。

表 4-2 轴心受压构件的截面分类 ($t < 40\text{mm}$)

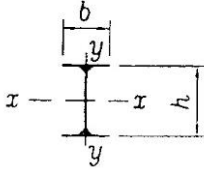
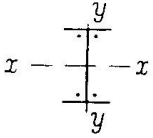
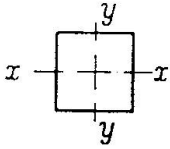
截面形式		对 x 轴	对 y 轴
		a 类	a 类
	$b/h \leq 0.8$	a 类	b 类
	$b/h > 0.8$	a*类	b*类

 <p>轧制等边角钢</p>		a*类	a*类
 <p>焊接，翼缘为焰切边</p>	 <p>焊接</p>	b类	b类
 <p>轧制</p>			
 <p>轧制、焊接（板件宽厚比>20）</p>	 <p>轧制或焊接</p>		
 <p>焊接</p>	 <p>轧制截面和翼缘为焰切边的焊接截面</p>		
 <p>格构式</p>	 <p>焊接，板件边缘焰切</p>		
 <p>焊接，翼缘为轧制或剪切边</p>			
 <p>焊接，板件边缘轧制或剪切</p>	 <p>轧制、焊接（板件宽厚比≤20）</p>	c类	c类

注：1 a*类含义为 Q235 钢取 b 类，Q355、Q390、Q420 和 Q460 钢取 a 类；b*类含义为 Q235 钢取 c 类，Q355、Q390、Q420 和 Q460 钢取 b 类。

2 无对称轴且剪心和形心不重合的截面，其截面分类可按有对称轴的类似截面确定，如不等边角钢采用等边角钢的类别；当无类似截面时，可取 c 类。

表 4-3 轴心受压构件的截面分类 ($t \geq 40\text{mm}$)

截面形式	对 x 轴	对 y 轴
 轧制工字形或 H 形截面	$t < 80\text{mm}$	b
	$t \geq 80\text{mm}$	c
 焊接工字形截面	翼缘为焰切边	b
	翼缘为轧制或剪切边	c
 焊接箱形截面	板件宽厚比 > 20	b
	板件宽厚比 ≤ 20	c

4.3 中国型钢库

SAP2000 中文版基于相关中国规范新加入了中国型钢库。常用钢材截面有普通热轧型钢、热轧宽翼缘 H 型钢，焊接轻型 H 型钢、结构用高频焊接薄壁 H 型钢。SAP2000 中文版中，普通热轧型钢包括工字钢、槽钢、角钢等型钢截面，分别遵循 GB706-88、GB706-88、GB9788-88。热轧 H 型钢参照了 GB112263-89 的规定。结构用高频焊接 H 型钢参照了 JG/T137-2001 的规定。

第 5 章 计算长度系数

本技术报告描述了程序如何根据中国 2018 规范在计算中考虑钢框架构件计算长度系数的。以下计算长度系数的计算方法适用于“一阶分析法”。对于“一阶放大法”和“二阶分析法”计算长度系数取为 1.0，对于“直接分析法”，不需要使用计算长度系数。

在确定框架柱的计算长度系数时，先要计算下列线刚度之和：

$$K_1 = \frac{\sum \left(\frac{E_b I_b}{L} \right)_t}{\sum \left(\frac{E_c I_c}{H} \right)_t}$$
$$K_2 = \frac{\sum \left(\frac{E_b I_b}{L} \right)_b}{\sum \left(\frac{E_c I_c}{H} \right)_b}$$

K_1 、 K_2 ——分别为相交于柱上端、柱下端的横梁线刚度之和与柱线刚度之和的比值；

E_b ——梁的材料弹性模量；

I_b ——梁的转动惯量；

L ——梁长度；

E_c ——柱的材料弹性模量；

I_c ——柱的转动惯量；

H ——柱的高度；

·对无侧移框架柱，当梁远端为铰接时应将横梁线刚度乘以 1.5，当横梁远端为嵌固时应将横梁线刚度乘以 2.0；对有侧移钢架柱，当横梁远端为铰接时应将横梁线刚度乘以 0.5，当横梁远端为嵌固时应将横梁线刚度乘以 2/3。

·当横梁与柱铰接时，取横梁线刚度为零。对底层框架柱，当柱与基础铰接时取 K_2 等于零，当柱与基础刚接时取 $K_2=10$ 。

·当与柱刚性连接的梁所受轴心压力较大时，横梁线刚度应乘以折减系数。

根据求得的 K_1 、 K_2 ，可以利用 GB50017-2017 的 8.3.1 条计算无侧移框架柱和有侧移框架柱的计算长度系数 μ 。

➤ 有侧移时

$$\mu = \sqrt{\frac{7.5K_1K_2 + 4(K_1 + K_2) + 1.52}{7.5K_1K_2 + K_1 + K_2}}$$

➤ 无侧移时

$$\mu = \sqrt{\frac{(1 + 0.41K_1)(1 + 0.41K_2)}{(1 + 0.82K_1)(1 + 0.82K_2)}}$$

在 ETABS 中文版的钢框架设计首选项中，“框架类型”分为：有侧移框架（SMF）、无侧移框架（NMF）、中心支撑框架（CBF）、偏心支撑框架（EBF）。当计算柱的计算长度系数时，中心支撑框架和偏心支撑框架均默认为无侧移框架。

第 6 章 构件承载力设计

本技术报告描述了程序如何根据中国 2018 规范对钢框架构件进行承载力计算。

6.1 概述

程序可进行钢框架柱、梁、中心支撑、偏心支撑设计。相关计算遵循了《钢结构设计标准》、《建筑抗震设计规范》和《高层民用建筑钢结构技术规程》中的规定。

构件的受拉和受压强度按净截面计算，稳定性和变形按毛截面计算，考虑有效截面时稳定性按有效截面计算。在 ETABS 的设计覆盖项中，可以设置净截面与毛截面面积比，默认值为 0.9，并可由用户自行调整。

钢材的抗拉、压、弯强度设计值，是对屈服强度标准值乘一定的系数后取整得出的，抗剪强度设计值是对抗拉强度设计值乘一定系数后取整得出的，端面承压是对抗拉强度最小值乘一定系数并取整后得出的。此外，强度与材料的厚度有关。

表 6-1 钢材的强度设计值 (N/mm^2)

牌号	厚度 (mm)	抗拉、抗压、抗弯强度 f	抗剪强度 f_v	屈服强度 f_y	抗拉强度 f_u
Q235	≤ 16	215	125	235	370
	$> 16, \leq 40$	205	120	225	

	> 40, ≤100	200	115	215	
Q355	≤16	305	175	355	470
	> 16, ≤40	295	170	345	
	> 40, ≤63	290	165	335	
	> 63, ≤80	280	160	325	
	> 80, ≤100	270	155	315	
Q390	≤16	345	200	390	490
	> 16, ≤40	330	190	380	
	> 40, ≤63	310	180	360	
	> 63, ≤100	295	170	340	
Q420	≤16	375	215	420	520
	> 16, ≤40	355	205	410	
	> 40, ≤63	320	185	390	
	> 63, ≤100	305	175	370	
Q460	≤16	410	235	460	550
	> 16, ≤40	390	225	450	
	> 40, ≤63	355	205	430	
	> 63, ≤100	340	195	410	
Q345GJ	≤16	325	190	345	490
	> 16, ≤50	325	190	345	
	> 50, ≤100	300	175	335	
钢管-Q235	≤16	215	125	235	375
	> 16, ≤30	205	120	225	
	> 30	195	115	215	
钢管-Q345	≤16	305	175	345	470
	> 16, ≤30	290	170	325	
	> 30	260	150	295	
钢管-Q390	≤16	345	200	390	490
	> 16, ≤30	330	190	370	
	> 30	310	180	350	
钢管-Q420	≤16	375	220	420	520
	> 16, ≤30	355	205	400	
	> 30	340	195	380	
钢管-Q460	≤16	410	240	460	550
	> 16, ≤30	390	225	440	
	> 30	355	205	420	

6.2 承载力抗震调整系数 γ_{RE}

承载力抗震调整系数，是构件的承载力设计值与抗震承载力设计值的比值。GB50011-2010 对此未作深入说明，但其含意义与 AISC 采用允许应力法 (ASD) 进行抗震设计时将允许

应力提高 4/3=1.33 倍的规定类似。在表达式中，相当于将材料的强度设计值除以 γ_{RE} 。但在运用时，根据构件的重要性对不同构件和连接采取了不同的数值，可参见 GB50011-2010 第 5.4.2 条的规定。

表 6-2 钢构件承载力抗震调整系数

材料	结构构件	受力状态	γ_{RE}
钢	柱，梁、支撑、节点板件、螺栓、焊缝	强度	0.75
	柱、支撑	稳定	0.80

ETABS 中文版可根据钢构件的类型和受力状态判断钢构件适用的承载力抗震调整系数，并作为承载力抗震调整系数的默认值。ETABS 2013 已增加钢节点设计的内容，但目前只适用于美国规范。

6.3 框架梁柱承载力计算

轴力和弯矩共同作用的强度采用下式校核

$$\frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{\gamma_x W_{nx}} \pm \frac{M_y}{\gamma_y W_{ny}} \leq f$$

实腹压弯构件弯矩作用在对称轴平面内的稳定

$$\frac{N}{\varphi_x A} + \frac{\beta_{mx} M_x}{\gamma_x W_{1x} (1 - 0.8 \frac{N}{N_{Ex}})} \leq f$$

实腹压弯构件弯矩作用平面外的稳定

$$\frac{N}{\varphi_y A} + \eta \frac{\beta_{1x} M_x}{\varphi_b W_{1x}} \leq f$$

以上公式中， γ_x 和 γ_y 是塑性发展系数，取 1.0。 β 是弯矩非均布时的等效弯矩系数。 $1/(1 - N/N_{Ex})$

为压力和弯矩共同作用时的弯矩放大系数，经换算后可写成以上第二式所示形式。

6.4 中心支撑承载力计算

ETABS 中文版按照如下的规范规定 (JGJ99-2015 7.5.5) 验算中心支撑的抗震承载力

$$N / (\varphi A_{br}) \leq \eta f$$

$$\eta = 1 / (1 + 0.35\lambda_n)$$

$$\lambda_n = (\lambda / \pi) \sqrt{f_y / E}$$

式中, η 是受循环荷载时的设计强度降低系数, λ_n 是支撑斜杆的正则化长细比, f 是钢材强度设计值, 应除以 γ_{RE} 。ETABS 中国规范版本在设计过程中对中心支撑构件进行上述验算, 如果不能满足抗震承载力要求, 则增大中心支撑截面直至满足为止。

6.5 偏心支撑承载力计算

偏心支撑仅用于 8 度及以上的结构。GB50011-2010 中关于偏心支撑的规定, 完全参考 AISC1997 的抗震规定, 但增加了 γ_{RE} 的要求, 可能使计算更加繁琐。由于我国高层建筑较多采用混合结构, 目前还没有偏心支撑的设计经验。目前 ETABS 中文版采用美国规范进行偏心支撑计算和设计。

第 7 章 构造校核

本技术报告介绍了中国 2018 规范钢框架设计中对构件构造方面的要求。构件构造要求分为对板件宽厚比限值和构件长细比限值。

7.1 构件截面宽厚比限值

非抗震钢框架的构件截面，应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 7.3.1 的规定。实腹轴心受压构件要求不出现局部失稳者，其板件宽厚比应符合下列规定：

1. H 形截面腹板

$$h_0/t_w \leq (25+0.5\lambda)\varepsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-1})$$

式中： λ ——构件的较大长细比， $30 \leq \lambda \leq 100$

2. H 形截面翼缘

$$b/t_f \leq (10+0.1\lambda)\varepsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-2})$$

3. 箱形截面壁板

$$b/t \leq 40\varepsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-3})$$

4. 热轧剖分 T 形钢

$$h_0/t_w \leq (15+0.2\lambda)\epsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-5})$$

5. 焊接 T 形钢

$$h_0/t_w \leq (13+0.17\lambda)\epsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-6})$$

6. 等边角钢

$$\text{当 } \lambda \leq 80\epsilon_k, \quad w/t \leq 15\epsilon_k \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-7})$$

$$\text{当 } \lambda > 80\epsilon_k, \quad w/t \leq 5\epsilon_k + 0.125\lambda \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-8})$$

式中， w, t ——分别为角钢的平板宽度和厚度，简要计算时可取 $w = b - 2t$ ， b 为角钢宽度。

λ ——按角钢绕非对称主轴回转半径计算的长细比。

7. 圆管

$$D/t \leq 100\epsilon_k^2 \quad (\text{GB50017-2017 7.3.1-7})$$

当轴心受压构件的压力小于稳定承载力 φAf 时,可将以上板件宽厚比限值乘以放大系数

$$\alpha = \sqrt{\varphi Af / N} \quad (\text{GB50017-2017 7.3.2}).$$

抗震钢框架的构件截面，与结构的设防烈度有关，也与结构的高度有关，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 第 8.3.2 条的对框架梁、框架柱板件宽厚比要求的规定。下表（表 7-1）中汇总了非抗震和抗震条件下框架的梁柱板件宽厚比的限值：

表 7-1 框架的梁柱板件宽厚比的限值

板件类型		抗震			
		一级	二级	三级	四级
柱	工字形截面翼缘外伸部分	$10 \epsilon_k$	$11 \epsilon_k$	$12 \epsilon_k$	$13 \epsilon_k$
	工字形截面腹板	$43 \epsilon_k$	$45 \epsilon_k$	$48 \epsilon_k$	$52 \epsilon_k$
	箱型截面腹板	$33 \epsilon_k$	$36 \epsilon_k$	$38 \epsilon_k$	$40 \epsilon_k$

梁	工字形截面和箱形截面翼缘外伸部分	$9 \varepsilon_k$	$9 \varepsilon_k$	$10 \varepsilon_k$	$11 \varepsilon_k$
	箱型截面翼缘在两腹板间的部分	$30 \varepsilon_k$	$30 \varepsilon_k$	$32 \varepsilon_k$	$36 \varepsilon_k$
	工字形截面和箱形截面腹板	$72-120 \frac{N_b}{Af} \leq 60 \varepsilon_k$	$72-100 \frac{N_b}{Af} \leq 60 \varepsilon_k$	$80-110 \frac{N_b}{Af} \leq 70 \varepsilon_k$	$85-120 \frac{N_b}{Af} \leq 75 \varepsilon_k$

中心支撑构件的板件宽厚比应符合 GB50011-2003 第 8.4.1-2 条的规定，如表 7-2 所示。

表 7-2 钢结构中心支撑板件宽厚比限值

板件名称	抗震等级			
	一级	二级	三级	四级
翼缘外伸部分	$8 \varepsilon_k$	$9 \varepsilon_k$	$10 \varepsilon_k$	$13 \varepsilon_k$
工字形截面腹板	$25 \varepsilon_k$	$26 \varepsilon_k$	$27 \varepsilon_k$	$33 \varepsilon_k$
箱形截面腹板	$18 \varepsilon_k$	$20 \varepsilon_k$	$25 \varepsilon_k$	$30 \varepsilon_k$
圆管外径与壁厚比	$38 \varepsilon_k$	$40 \varepsilon_k$	$40 \varepsilon_k$	$42 \varepsilon_k$

7.2 构件长细比限值

非抗震钢结构构件的容许长细比，应符合《钢结构设计标准》GB50017-2017 第 7.4.6、7.4.7 条的规定，见表 7-3。

抗震钢框架柱的容许长细比，与结构的抗震等级有关，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 第 8.3.1 条和《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ99-2015 第 7.3.9 条的规定，见表。

表 7-3 框架构件长细比限值

构件类型	长细比限值
受压柱	150
受压支撑	200
受拉桁架	350
其它受拉构件	400

表 7-4 抗震框架柱长细比限值

抗震等级	一级	二级	三级	四级
一般钢结构	$60\varepsilon_k$	$80\varepsilon_k$	$100\varepsilon_k$	$120\varepsilon_k$
高层钢结构	$60\varepsilon_k$	$70\varepsilon_k$	$80\varepsilon_k$	$100\varepsilon_k$

中心支撑框架中支撑斜杆的长细比限值，应符合《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 的规定。支撑杆件的长细比，按压杆设计时，不宜大于 $120\varepsilon_k$ ；中心支撑杆一、二、三级时不得采用拉杆，四级时可采用拉杆，其长细比不得大于 $180\varepsilon_k$ 。

SAP2000 中国规范版本的设计过程中，遵循上述规范要求考虑了宽厚比和长细比的限值。如果设计截面不能满足上述限值，SAP2000 将输出相关警告信息。此外，用户也可以通过覆盖项自行设置杆件的长细比限值。

第 8 章 节点设计

强柱弱梁要求符合下列规定：

$$\Sigma W_{pc}(f_{yc} - N / A_c) \geq \eta \Sigma W_{pb} f_{yb} \quad (\text{GB50011 8.2.5-1})$$

式中， W_{pc}, W_{pb} ——分别为柱和梁的塑性截面模量；

N ——柱轴向压力设计值；

A_c ——柱截面面积；

f_{yc}, f_{yb} ——分别为柱和梁的钢材屈服强度。

η 为强柱系数，一级取 1.15，二级取 1.1，三级取 1.05。

符合下列情况之一下可不验算强柱弱梁：1) 柱所在楼层的受剪承载力比上一层受剪承载力高出 25%；2) 柱轴向力设计值与柱全截面和钢材抗拉强度设计值乘积的比值不超过 0.4；3) 与支撑相连的斜杆。其中，第一种情况与 AISC 规定相比放宽较多；第二种情况略有放宽，因为不是用屈服强度而是用强度设计值；第三情况是我国自行规定的。ETABS 中文版中，如果柱属于第一、二种情况，则不再验算所设计的截面是否满足强柱弱梁要求；如果柱不属于第一、二种情况，将进行验算，如果不能满足强柱弱梁要求，则增大柱截面直至满足为止。

第 9 章 分析设计方法

《钢结构设计标准》GB50017-2017 提出了，结构内力分析可采用一阶弹性分析、二阶 P- Δ 弹性分析或直接分析，并且对结构的整体初始缺陷和构件的初始缺陷都给出了规定，不同分析方法对应的设计流程有所区别。SAP2000 中文版实现了这些分析设计方法，以下是详细说明。

9.1 分析方法的选择

当选择中国 2018 规范时，在钢框架设计首选项中，提供了四种分析方法，分别对应为：一阶分析法，一阶放大法、二阶分析法和直接分析法。

不同分析方法对应的用户设置和程序的默认参数有所不同，表 9.1 列出了不同分析方法的差异。“初始几何缺陷”指结构的整体初始缺陷，一阶分析法不需要考虑，其它三种方法均可按程序提供的两种方式考虑；对于“P- Δ ”效应，可以按钢标的放大系数自动放大内力（即一阶放大法），或者通过在程序中设置 P- Δ 工况计算二阶效应；“构件缺陷”仅在直接分析法中考虑，程序通过计算附加弯矩来模拟构件初始缺陷导致的内力增加；对于“P- δ ”效应，用户需要设置杆件细分，由程序分析计算；“计算长度系数”和“稳定系数 φ ”，对于不同的分析方法程序将按规范要求自动计算取值。

表9-1 各分析方法涉及的内容及实现方式

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
一阶分析法	无	无	无	无	附录 E	附录 D
一阶放大法	名义荷载/修改未变形几何	内力放大法	无	无	1.0	附录 D
二阶分析法	名义荷载/修改未变形几何	P-Δ 工况	无	无	1.0	附录 D
直接分析法	名义荷载/修改未变形几何	P-Δ 工况	附加弯矩	杆件细分	1.0	1.0

9.2 初始几何缺陷

钢标允许用户采用最低阶屈曲模态的形状施加初始缺陷，或者在每层柱顶施加假想水平力（GB50017-2017 5.2.1）。SAP2000 可以通过不同的方法实现这两种初始几何缺陷的施加。

1) 修改未变形几何

用户需预先定义好屈曲工况，并计算得到最低阶屈曲模态。通过命令分析>修改未变形几何，修改模型的初始几何形状，如图 9.1 所示，在最大位移值一项中填入规范建议的 H/250。

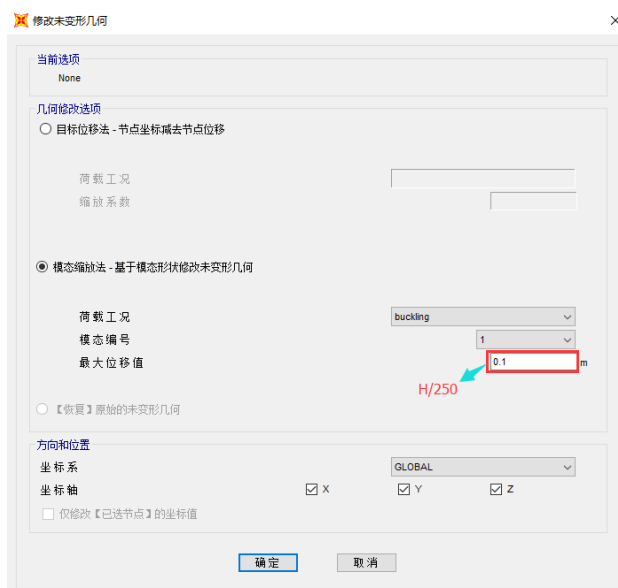


图9-1 通过修改未变形几何施加初始几何缺陷

2) 假想水平力

在定义荷载模式时，类型“Notional”即名义荷载，其对应的就是假想水平力荷载。定义名义荷载时，用户需选择参考荷载和荷载方向，并填入荷载比（如图 9.2）。其中，参考荷载应选择对应的重力荷载，当重力荷载对应多个荷载模式时，则相应地定义多个名义荷载。荷载方向表示假想水平力的方向，一般情况下，X 和 Y 方向都要考虑。因此，对每个重力荷载模式

需要添加两个假想水平力。荷载比一栏，需要填入 $\frac{1}{250} \sqrt{0.2 + \frac{1}{n_s}}$ 的计算值。定义了名义荷载后，程序会自动将假想水平力施加于柱顶。

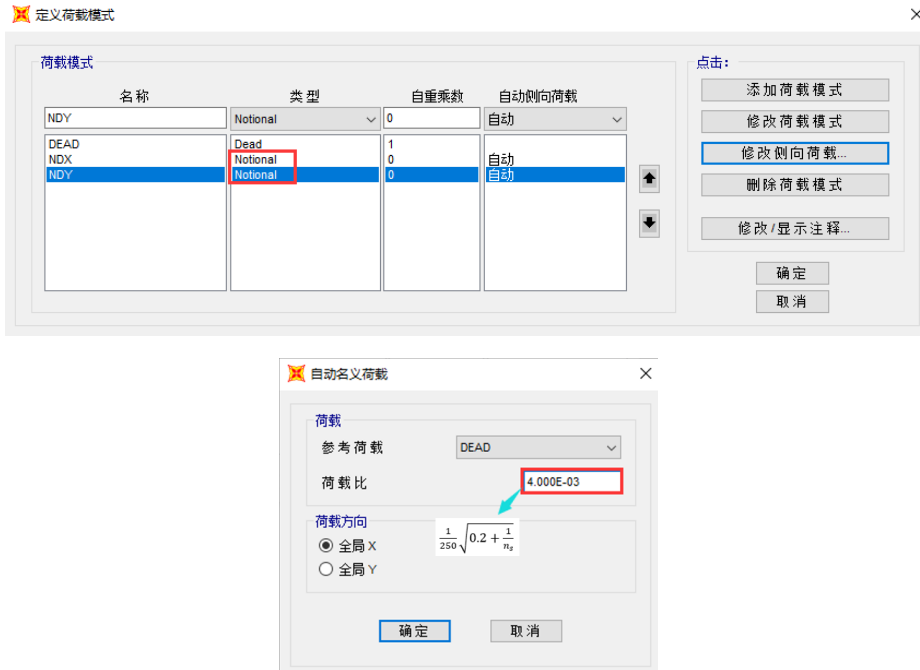


图9-2 定义假想水平力荷载

3) 假想水平力与荷载组合

定义了假想水平力荷载模式后，程序会自动生成相应的工况，假想水平力引起的效应跟随对应的重力荷载参与组合。由于假想水平力引起的效应是由对应的重力荷载产生的，因此在荷载组合中，假想水平力荷载工况的分项系数与对应重力荷载的分项系数保持一致。同时应注意 X 方向与 Y 方向的假想水平力不同时参与组合，并且在荷载组合时应考虑假想水平力正负方向所引起的最不利效应。程序按上述原则，自动生成相应的荷载组合，如图 9.3 所示。

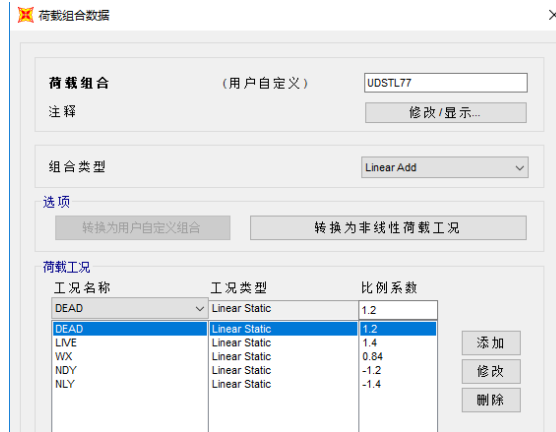


图9-3 考虑假想水平力的荷载组合

现举一例简单介绍假想水平力的定义与荷载组合。假定某工程需要考虑恒荷载、活荷载以及风荷载三种荷载，那么荷载模式定义应如图 9.4 所示，其中 NDX 和 NDY 分别表示 X 和 Y 方向对应恒荷载的假想水平力，NLX 和 NLY 分别表示 X 和 Y 方向对应活荷载的假想水平力。

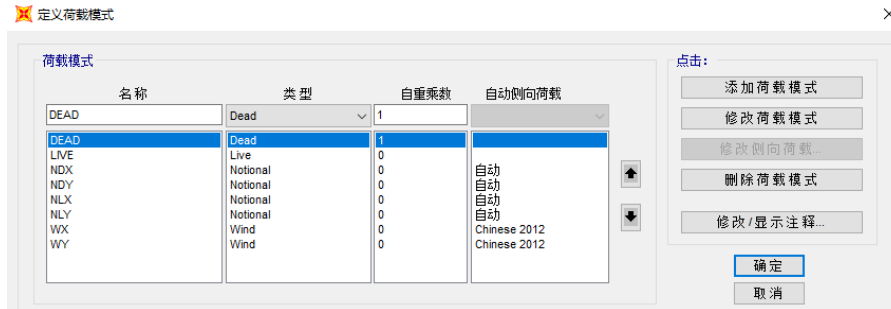


图9-4 假想水平力定义

基于前面介绍的组合原则，程序生成荷载组合的形式如下表 9.2 所示。

表9-2 荷载组合示例

不考虑假想水平力时	$1.2D+1.4L+0.84WX$
考虑假想水平力时	$1.2D+1.4L+0.84WX+1.2NDX+1.4NLX$
	$1.2D+1.4L+0.84WX-1.2NDX-1.4NLX$
	$1.2D+1.4L+0.84WX+1.2NDY+1.4NLY$
	$1.2D+1.4L+0.84WX-1.2NDY-1.4NLY$

9.3 P-Δ 工况

由于 P-Δ 工况是非线性的，因此是不具备叠加性的。用户可以通过将荷载组合转化为非线性工况的形式考虑 P-Δ 效应,如图 9.3。这时，每个荷载组合对应一个非线性分析工况，分别计算其 P-Δ 效应的影响。



图9-3 将荷载组合转化为非线性工况

另一个近似方法是，预先设置一个 P-Δ 工况，施加 1.2DEAD+1.4LIVE 的重力荷载（这是偏保守的），将该工况设置为非线性，并考虑 P-Δ 效应。然后将该 P-Δ 工况作为初始条件，应用于其它所有荷载工况中，如图 9.5。这时，所有工况都使用了相同的初始刚度矩阵，并偏保守地考虑了 P-Δ 效应。同时，这些工况都是线性的，故可以进行荷载组合。

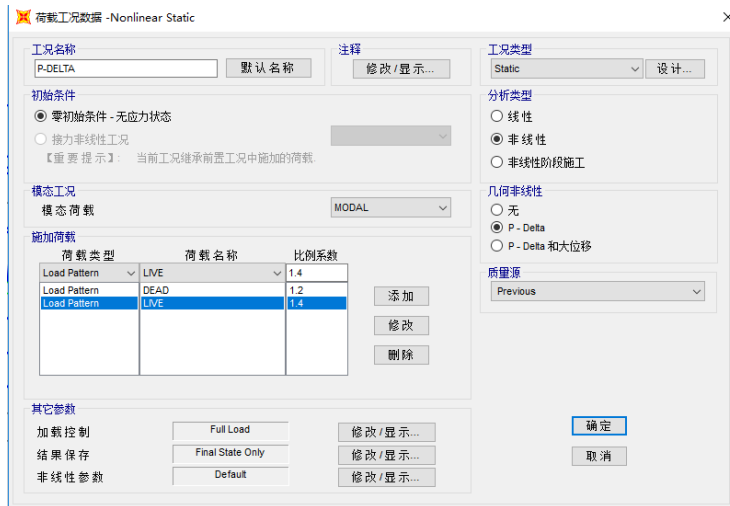


图9-4 预设P-Δ工况



图9-5 使用P-Δ刚度的线性工况

9.4 P-delta 效应

在完成 9.3 节中 P-Δ 工况的设置后，用户需要对杆件进行细分来捕捉杆件弯曲引起的 P-delta 效应。一般情况下，将杆件剖分为 3~5 段即可。

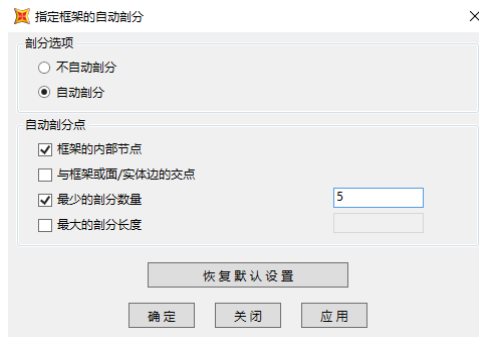
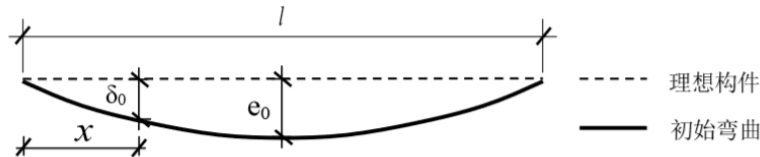


图9-6 杆件细分

9.6 构件缺陷

构件的初始缺陷包括了构件的初始弯曲以及残余应力等的影响。在 SAP2000 中，构件的初始缺陷并未在设计中进行考虑，而是在设计以附加弯矩的形式进行考虑，附加弯矩按

$M_a = N_k \cdot \delta_0 = N_k \cdot e_0 \sin \frac{\pi x}{l}$ 计算，其中 x 为测站位置。再将附加弯矩和计算弯矩进行叠加后，得到了最终的设计弯矩。如图 9.10 和图 9.11。



(a) 等效几何缺陷

图9-7 等效几何缺陷

Moment Modification	Factored Mf	Amplified Mampl	Imperfect. e0/l	Additional Ma = e0*Nk	Adjusted Mampl+Ma	Design Mdesign
Major Bending	-21	-21	1/350	2	-21	-21
Minor Bending	4.414E-01	4.414E-01	1/300	2	2	4.414E-01

图9-8 设计细节中输出的附加弯矩

注意：附加弯矩的大小是与测站相关，同一个工况下，端部的附加弯矩小，中间的附加弯矩大，并且主轴的附加弯矩和次轴的附加弯矩不同时考虑。

9.7 直接分析法验算

直接分析设计法可以全面考虑结构和构件的初始缺陷、几何非线性等影响。在 SAP2000 中选择直接分析法时，要考虑上述 9.2~9.6 节的内容，程序将按下式进行截面验算（GB 50017-2017 条文说明 5.5.7）：

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

其中：

Δ_x 、 Δ_y ——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。在 SAP2000 中，通过预设 P- Δ 选项考虑。

Δ_{xi} 、 Δ_{yi} ——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。在 SAP2000 中，通过名义荷载考虑。

δ_x 、 δ_y ——荷载作用下构件在 x 、 y 轴方向的变形值。在 SAP2000 中，通过预设 P- Δ 选项考虑和杆件细分考虑。

δ_{xi} 、 δ_{yi} ——构件在 x 、 y 轴方向的初始缺陷值。在 SAP2000 中，通过计算附加弯矩考虑。