



- ETABS 中剪力墙建模与剖分常见问题剖析
- 建筑结构连续倒塌分析在 SAP2000 中实现
- H 型钢腹板连接方式的对比
- PLAXIS 3D 2018 新功能介绍
- Edward L. Wilson 教授访谈回忆录 (7)



主 办：北京筑信达工程咨询有限公司  
主 编：李 立  
美 编：张翠莲

### 北京筑信达工程咨询有限公司

地址：北京市石景山区古盛路 36 号泰然大厦 4 层 408 室  
电话：010-68924600 技术热线：010-68924600-200  
传真：010-68924600-8  
网址：www.cisec.cn 在线支持：support.cisec.cn  
邮箱：support@cisec.cn (技术支持)  
sales@cisec.cn (产品销售)

### 筑信达武汉分公司

地址：武汉市洪山区武珞路 717 号兆富国际 805 室  
电话：027-8788 6890 / 8788 6891

### 区域代理

#### 北方区

北京华思维泰克科技有限公司  
联系人：王博  
手 机：159 1060 8694

#### 华东区

上海江图信息科技有限公司  
联系人：薛平  
手 机：137 0172 6345

#### 华南区

广州倍益软件技术有限公司  
联系人：田茂金  
手 机：137 6071 9009

#### 华中区

武汉百思通科技有限公司  
联系人：叶亮  
手 机：139 9561 6575

#### 西南区

金橡果科技成都有限公司  
联系人：刘宇  
手 机：185 1282 0985

# 目 录

# Content

	ETABS 中剪力墙建模与剖分常见问题剖析	1
	ETABS 美标混凝土框架设计要点详解（二） ——框架梁、节点设计	7
	建筑结构连续倒塌分析在 SAP2000 中实现	13
	CSiBridge 导向结构的功能及应用	18
	H 型钢腹板连接方式的对比	23
	DeepEX 土压力计算	27
	PLAXIS 3D 2018 新功能介绍	32
	经典连载	
	Edward L. Wilson 教授访谈回忆录（7）	37
	新版发布	44
	活动报道	45
	征稿启示	47



 cisec68924600

# ETABS 中剪力墙建模与剖分常见问题剖析

筑信达 吴文博

剪力墙具有抗侧刚度大，整体性好，以及不错的承载力，是设计人员经常使用的一种结构体系。但是剪力墙在程序建模与分析时，也较为复杂，本文列举几类工程常见问题与大家共同探讨。

## 1. 剪力墙剖分

一般来说，有限元网格剖分的尺寸大小、剖分形状以及剖分疏密会对计算的精度及准确性产生很大的影响。在 ETABS 中，对墙采用的默认剖分是对直墙不剖分，对曲线墙采用矩形网格剖分。默认的剖分设置对于高宽比较大的单片墙不会造成太大的精度损失，但是对于双臂墙（连梁由壳单元模拟），在很多情况下并非很合理。此时，ETABS 还提供了自动的矩形划分，可以更加精细的划分网格，获取更加精确的结果。



图 1 墙默认剖分选项

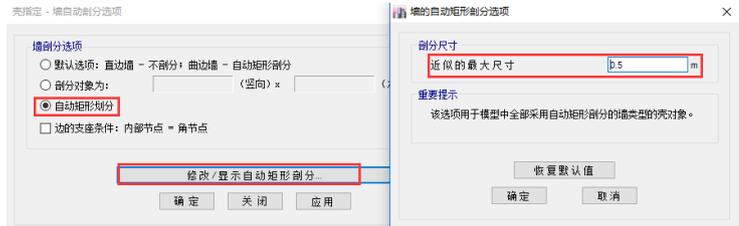
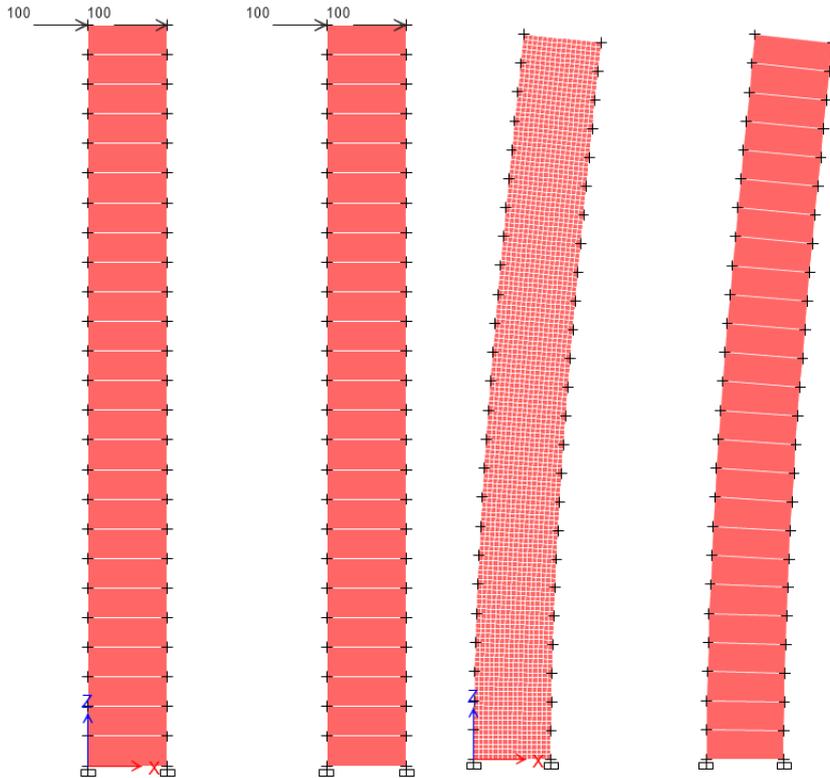


图 2 墙矩形剖分选项

“模型一”基本信息：墙长 8m，层高 3m，共 25 层，墙厚 300mm，混凝土强度等级 C30。在墙顶作用一对水平荷载 100kN。墙体剖分情况分别为 0.5m 矩形网格和不剖分两种情况。



对象 ID	墙和楼层	标签	唯一名称
Story25	2	3	

点位移和位移角			
	X	Y	Z
平动, mm	73.824	0.000	-5.890
转角, rad	0.000000	0.001581	0.000000
位移角	0.001491	0.000000	

对象 ID	墙和楼层	标签	唯一名称
Story25	5	108	

点位移和位移角			
	X	Y	Z
平动, mm	71.513	0.000	5.684
转角, rad	0.000000	0.001424	0.000000
位移角	0.001426	0.000000	

图 3 单片墙不同剖分下变形





从结果可以看出，对于高宽比较大单片墙，变形类似于悬臂梁，并且在纵向已经做了一定尺度的划分（分为了 25 份），所以，即便不去进一步剖分，也是有着不错的计算精度的，所以对这种墙可以不划分网格或者划分较粗的网格即可。**但是对于高宽比较小的墙片上述做法就不一定合适了。**

**“模型二”基本信息：**单墙肢长均为 3m，连梁跨度 2m，高度 0.6m，其余同模型一。墙体剖分情况分别为 0.5m 矩形网格和不剖分两种情况。

在此大家应注意，连梁和墙肢在模型二中存在节点不对齐的情况（如图 4），此时在 ETABS 中可以使用自动边约束功能使网格不对齐的部位强行位移协调，保证计算模型具有足够的精度。但是要注意的是，只有当两个墙单元具有共用的边时，自动边约束功能才会起作用，图 5 中，左图是无法使用自动边约束功能的，而右图是可以的。

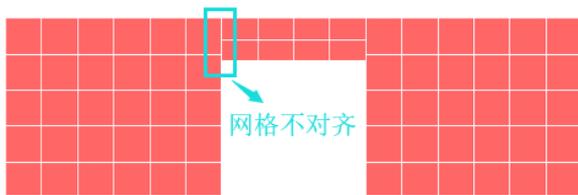


图 4 墙剖分网格不对齐

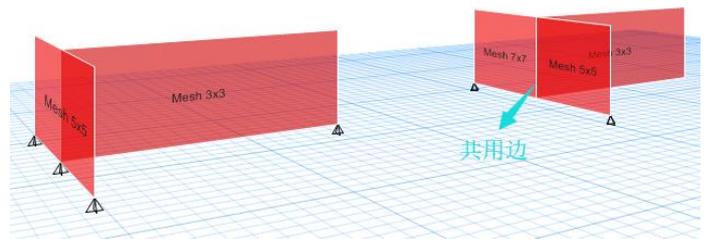


图 5 共用边

计算结果如下：

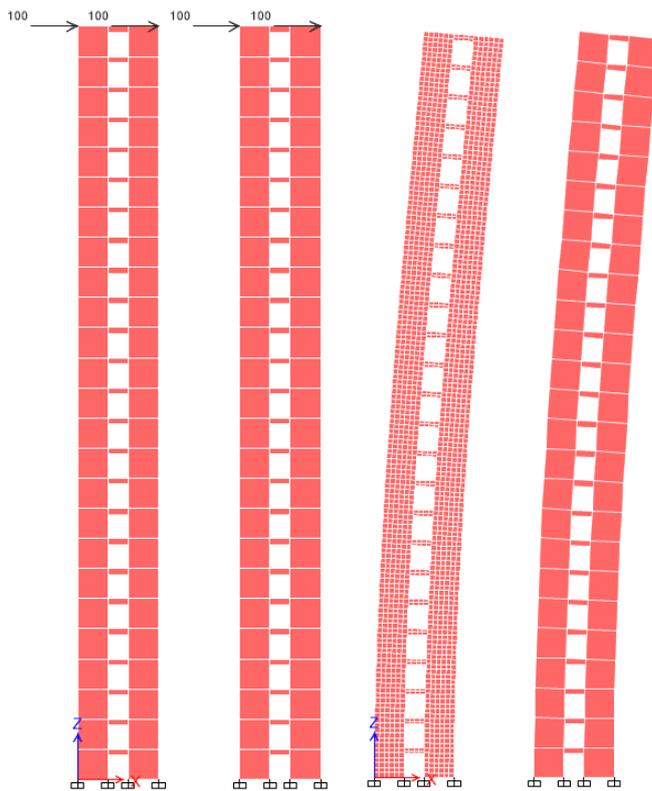


图 6 双肢墙不同剖分尺寸下变形

点位移			
对象 ID	塔和楼层	标签	唯一名称
Story25	2	204	
点位移和位移角			
平动, mm	X	Y	Z
	83.196	0.000	-6.111
转角, rad	0.000000	0.001722	0.000000
位移角	0.001626	0.000000	

点位移			
对象 ID	塔和楼层	标签	唯一名称
Story25	4	358	
点位移和位移角			
平动, mm	X	Y	Z
	75.556	0.000	-5.938
转角, rad	0.000000	0.001505	0.000000
位移角	0.001504	0.000000	

从计算结果中可以明显看出，剖分对计算结果产生了较大的影响。未剖分的墙体变形更小，刚度更大，同时计算精度也偏差较大，无法满足工程需要。

对比模型一的结论，我们可以很自然地推测：是否连梁的剖分对计算结果的影响较大？就此我们做了另一组对比模型。

**“模型三”基本信息：**建立两个双肢墙，同模型二，其中一个模型仅对墙肢剖分（剖分尺寸 0.5m），而另一个仅对连梁进行剖分。





图 7 双肢墙不同剖分形式下变形

从上述结果证明了我们的推测，仅剖分墙肢的计算结果较不剖分的计算结果更加精确一些，但是仍然无法达到我们的计算要求。而仅剖分连梁的计算结果 80.43mm 与整体剖分的计算结果 83.20mm 已经比较接近，因此，如果我们需要控制单元数量的话，细分连梁会得到更加精确的结果。

## 2. 连梁的模拟

在 ETABS 中，用户可以采用壳单元和框架单元去模拟连梁，如果用户使用壳单元模拟连梁，按照前文介绍进行合理的剖分是可以得到合理的计算结果；但是如果使用框架单元模拟连梁时，有一些情况是需要注意的。

由于壳单元同时具备膜的面内刚度和板的面外刚度，其节点也同时具有平动自由度和转动自由度，故壳单元与框架单元可以通过节点直接连接。但是，两者交点处绕壳平面法向的转动刚度不足，会造成结构刚度偏柔。为了避免上述问题，ETABS 会自动将连梁（框架单元）在墙梁交点处向内延伸至壳单元（墙肢）的相邻节点处（也称为“埋设梁”），同时释放连梁延伸端的轴力、弯矩和扭矩而仅保留剪力。注意，“埋设梁”是程序自动处理的，不需要用户绘制。

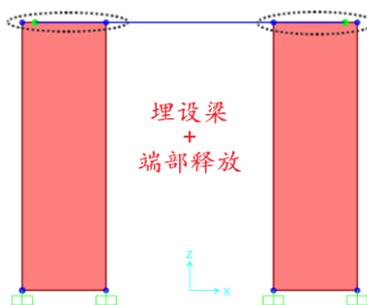


图 8 ETABS 自动的“埋设梁”示意图

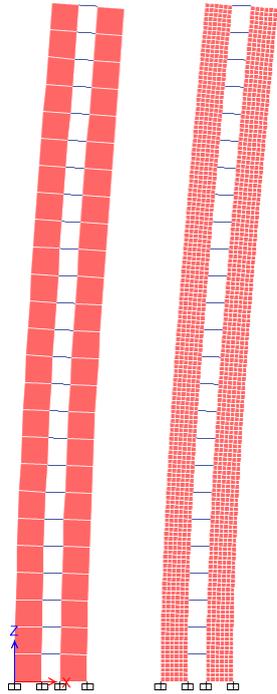
由于 ETABS 自动添加的埋设梁仅深入到相连的剖分单元内，所以如果剖分的单元越小，相应的连接刚度也越小，因此，在不做其他处理的情况下，不建议对墙肢剖分。

**“模型四”基本信息：**建立两个双肢墙，连梁采用框架单元模拟，尺寸为 300X600,其余同模型二。其中一个模型对墙肢





剖分（剖分尺寸 0.5m），而另一个不剖分。



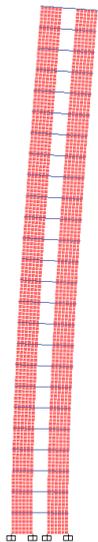
点位移			
对象 ID			
塔和楼层	标签	唯一名称	
Story25	36	105	
点位移和位移角			
	X	Y	Z
平动, mm	81.819	0.000	-6.038
转角, rad	0.000000	0.001584	0.000000
位移角	0.001582	0.000000	

点位移			
对象 ID			
塔和楼层	标签	唯一名称	
Story25	6	463	
点位移和位移角			
	X	Y	Z
平动, mm	98.673	-1.774E-11	-6.406
转角, rad	0.000000	0.001810	0.000000
位移角	0.001867	0.000000	

图 9 框架模拟连梁时不同剖分尺寸下变形

从计算结果来看，墙肢不剖分的模型中位移 81.82mm 更加接近于精确解 83.20mm，而如果墙肢进行剖分的话，变形明显增加，这是由于连梁与墙肢连接刚度减小导致的。

如想得到更加精确的结果还可以人为添加埋设梁，再对墙体进行剖分。如图 10 所示，此时与精确结果已相差无几。



点位移			
对象 ID			
塔和楼层	标签	唯一名称	
Story25	2	184	
点位移和位移角			
	X	Y	Z
平动, mm	83.015	-7.442E-12	-6.068
转角, rad	0.000000	0.001573	0.000000
位移角	0.001606	0.000000	

图 10 手动添加埋设梁后的变形

除了 ETABS 自动“埋设梁”的设置方式，还可以依据连梁的跨高比、楼板位置等情况设置其他形式的埋设梁，如图 11。具体可参考 CSi 知识库内容：<https://wiki.csiamerica.com/display/perform/Modeling+of+coupling+beams+in+shear+walls>。

另外需要注意的是，SAP2000 在处理框架与壳单元的连接时，并未做自动“埋设梁”的处理，需要用户手动完成，详细内容可参考筑信达知识库内容：<http://www.cisec.cn/Support/knowledgeBase/knowledgeBaseMenu.aspx?menuid=671>。

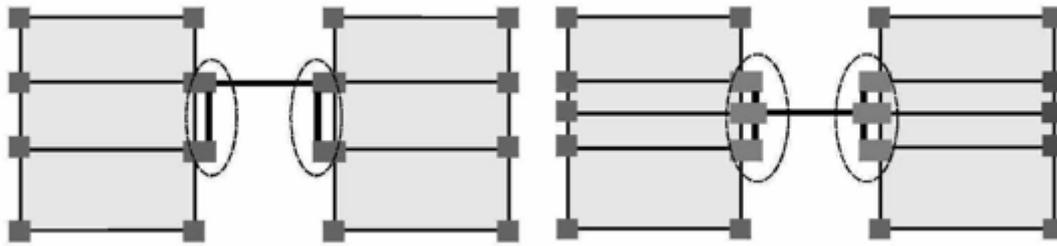


图 11 “埋设梁”的其他设置方法

### 3. 剪力墙支座的模拟

通常情况下，剪力墙基础多为条形基础、筏板基础或桩筏基础等形式，因此墙底部的约束形式应为线约束而非点约束。在 ETABS 中，可以对剪力墙内部的剖分点施加约束，从而近似模拟线约束。



图 12 剪力墙底部约束

**“模型五”基本信息：**墙长 8m，层高 3m，共 10 层，墙厚 300mm，混凝土强度等级 C30。在墙顶作用一对竖向荷载 100kN。墙体剖分为 0.5m，分为勾选“边的支座条件”和不勾选两种情况。

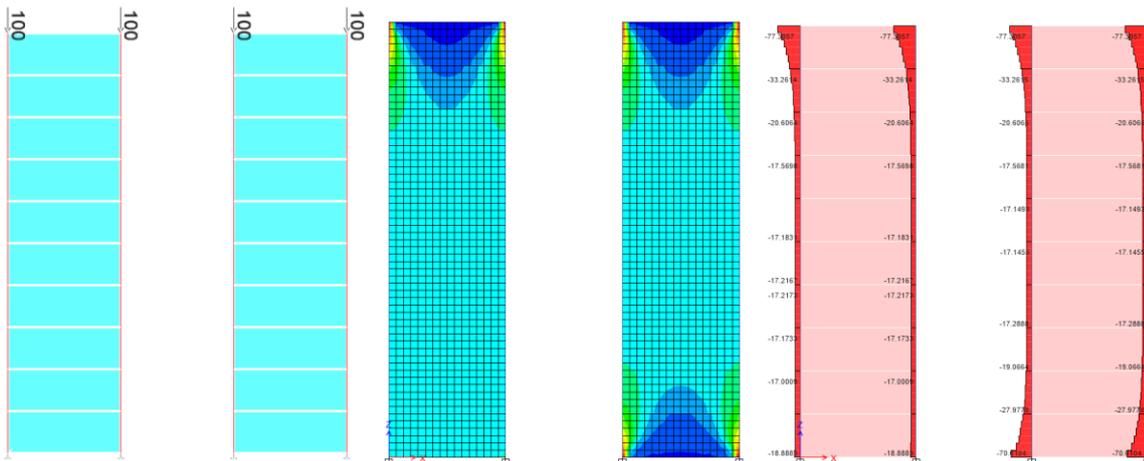


图 13 不同底部约束下的剪力墙应力图和端柱的内力图

从以上计算结果可以看出，若不设置边支座，竖向力只能通过角部的两个点支座传递给基础，此时剪力墙的 S22 应力呈现出拱传力的特征，中间应力小，应力集中与两端，而端柱因与剪力墙变形协调，所以会造成柱轴力异常大，且随剖分尺寸减小大幅增加。设置边支座后，竖向力可以通过底部的边支座均匀的传递给基础，会得到更加符合实际的结果。

并且，对墙体底部添加线约束后，结构刚度会有所增加。对于高宽比较大的墙肢影响不大，但是对高宽比较小的墙肢影响较大。



#### 4. 剪力墙弹塑性分析的模拟

在 ETABS 中，模拟剪力墙的非线性行为可以使用分层壳或者墙铰。当分层壳单元或墙铰单元与框架单元（连梁通常模拟为框架单元）相连时，程序均不会自动添加“埋设梁”，需要用户进行手动添加，添加的方法可以参考本文第 2 节的内容。在剖分方面，墙铰是属于一个整体的，应视为一个构件，不可再进行剖分，如果想调节铰的位置，只能对墙进行分割处理后再指定墙铰，如图 14。而对于分层壳则与普通壳单元相似，剖分尺寸越小，计算结果也会越精细，但是对于分层壳而言，计算量非常巨大，并且很小的剖分会造成应力集中现象比较明显，进而导致分析收敛比较困难，因此并不建议使用很小的剖分尺寸。如图 15 所示，更小的剖分尺寸确实可以得到更加精细的应力分布或应变分布，但是也会造成更加集中的应力或应变分布，这些应力或应变对评价整个墙体的损坏状态意义不大，一般情况下，1m~2m 的网格剖分足矣。

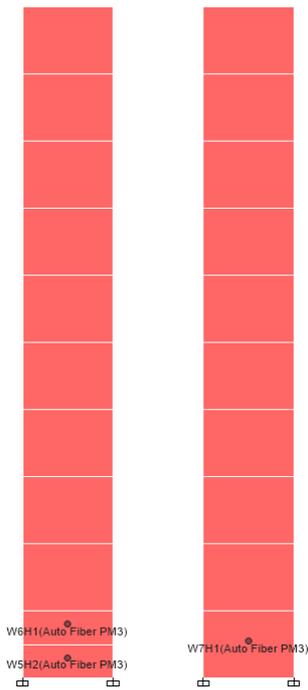


图 14 墙铰布置

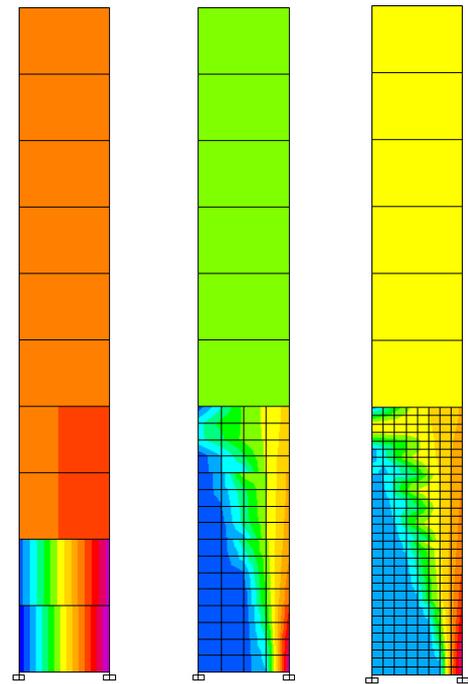


图 15 不同剖分尺寸下分层壳应力

#### 5. 结语

当剪力墙采用壳单元模拟时，采用合理的剖分尺寸是必要的，通常 1m 左右的网格即可。特别是对于双肢墙，连梁宜采用更加精细的剖分，这样可以在有限的剖分数量下，得到更加精确的结果。

当连梁采用框架单元模拟时，默认的条件下，墙体不剖分反而会得到更加准确的结果。如果想得到更加精确的结果，可以手动添加“埋设梁”后再对墙肢剖分。

设置剪力墙的边支座可以得到更加准确的应力传递路径，也会对结构刚度有所增加。

当分层壳或墙铰与框架单元（连梁）相连时，应手动添加“埋设梁”。分层壳宜采用适当的网格剖分，1m~2m 的网格剖分即可，墙铰单元不可剖分，但可分割。

# ETABS 美标混凝土框架设计要点详解（二）——框架梁、节点设计

筑信达 李立

本文将基于 ACI 318-14 规范（以下简称 ACI）讨论钢筋混凝土梁、节点设计在 ETABS 中的实现细节。本文重点介绍程序如何实现规范的相关要求，解释设计细节中表格数据的含义，不涉及软件操作说明。相关的操作请查看联机帮助或程序自带的例题。

## 1. 梁正截面设计

### 1.1 计算抗弯纵筋

矩形截面和 T 形截面的正截面设计示意图如图 1 所示。程序根据 ACI 22.2.2.4 的规定，计算混凝土受压区等效矩形应力区。默认受拉钢筋最小应变为 0.005，相比规范要求的 0.004（ACI 9.3.3），程序做了一些处理，目的是让强度折减系数为定值 0.9（参见 ACI R21.2.2b）。

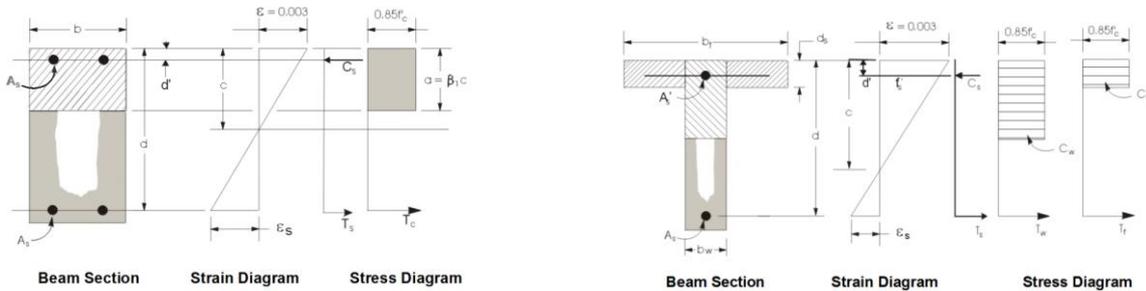


图 1 矩形梁、T 形梁正截面设计示意图

依据 ACI 的规定，程序自动判断设计结果是否满足最小、最大配筋要求，判断标准见表 1、表 2。表 1 适用于所有框架梁，表 2 是针对抗震框架梁的配筋要求。

表 1 框架梁的配筋限值

最小配筋	最大配筋
受拉钢筋下限取以下两者小值： $A_s \geq \max \left\{ \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d, \frac{200}{f_y} b_w d \right\} \quad (\text{ACI } 9.6.1.2)$ $A_s \geq \frac{4}{3} A_{s(\text{required})} \quad (\text{ACI } 9.6.1.3)$ 对于 T 形梁的负弯矩段，用 $b'_w$ 替换上式中 $b_w$ ， $b'_w = \min(b_f, 2b_w)$	受拉、受压钢筋上限： $A_s \leq \begin{cases} 0.04bd & \text{矩形梁} \\ 0.04b_w d & \text{T形梁} \end{cases}$ $A'_s \leq \begin{cases} 0.04bd & \text{矩形梁} \\ 0.04b_w d & \text{T形梁} \end{cases}$

表 2 抗震框架梁的配筋限值

特殊抗弯框架	中等抗弯框架
<ul style="list-style-type: none"> <li>必须是双筋梁，上铁和下铁分别不小于：  <math display="block">A_{s(\text{min})} \geq \max \left\{ \frac{3\sqrt{f'_c}}{f_y} b_w d, \frac{200}{f_y} b_w d \right\}</math> </li> <li>抗弯钢筋上限为：  <math display="block">A_s \leq 0.025 b_w d.</math> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>梁端正弯矩钢筋不小于负弯矩钢筋的 1/3（ACI 18.4.2.2）</li> <li>任意位置的正/负弯矩配筋均不可小于端部正/负弯矩配筋较大值的 1/5（ACI 18.4.2.2）</li> </ul>



- 梁端正弯矩钢筋不小于负弯矩钢筋的 1/2 (ACI 18.6.3.2)
- 任意位置的正/负弯矩配筋均不可小于端部正/负弯矩配筋较大值的 1/4 (ACI 18.6.3.2)

## 1.2 抗弯结果输出

完成设计后，程序会自动显示梁的两端及跨中的配筋结果。如果关心细节数据，可在设计细节中查看每个设计组合下，各个测站的设计弯矩及配筋结果。以下两张表，是某特殊抗弯框架中的一根梁的端部在一有震荷载组合下抗弯细节信息。

**Flexural Reinforcement for Moment,  $M_{u3}$**

	Required Rebar in <sup>2</sup>	+Moment Rebar in <sup>2</sup>	-Moment Rebar in <sup>2</sup>	Minimum Rebar in <sup>2</sup>
Top (+2 Axis)	9.2727	5.265	9.2727	3.015
Bottom (-2 Axis)	9.0052	9.0052	6.6009	3.015

上表中，Moment Rebar 是计算所需配筋，Minimum Rebar 是构造要求，Required Rebar 是前两者的大值。

**Design Moments,  $M_{u3}$**

Design +Moment kip-ft	Design -Moment kip-ft	Factored +Moment kip-ft	Factored -Moment kip-ft	Special +Moment kip-ft	Special -Moment kip-ft
186.3607	-372.7215	335.3974	-372.7215	186.3607	-372.7215

上表中，Factored Moment 来自相应荷载组合下设计弯矩，Special Moment 是满足特殊抗弯框架要求(表 2 中 ACI 18.6.3.2)的设计弯矩，Design Moment 是最终用于测站位置截面设计的弯矩设计值。

## 2. 梁斜截面设计

### 2.1 计算抗剪箍筋

首先确定剪力设计值。对一般框架而言，该值来自荷载组合下的计算结果。对于特殊抗弯框架和中等抗弯框架，还应满足表 3 的要求。

表 3 抗震框架梁的设计剪力要求

特殊抗弯框架	中等抗弯框架
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 根据梁端最大可能抗弯能力计算的剪力与重力荷载下梁剪力的合力 (ACI 18.6.5.1)</li> </ul>	以下两种情况的较小值 (ACI 18.4.2.3): <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 根据梁端名义抗弯能力计算的剪力值与重力荷载下简支梁剪力的合力</li> <li>▪ 荷载组合中将地震作用放大 2 倍后得到的剪力值</li> </ul>

注意，上表中“最大可能强度”即钢筋强度按  $1.25f_y$  取值，强度折减系数取为 1；“名义强度”即钢筋强度按  $f_y$  取值，强度折减系数取为 1。此外，梁的抗弯能力是通过抗弯配筋结果计算而得，若用户在定义梁截面时，指定了延性梁的配筋面积，程序将使用用户指定的配筋面积替换自动抗弯设计得到的配筋，来计算梁的设计剪力。





接下来，计算混凝土的抗剪承载力，程序按 ACI 22.5.5.1 公式进行计算，即  $V_c = 2\lambda\sqrt{f'_c}b_wd$ 。注意，在距梁端两倍梁高范围内，如果地震作用引起的剪力超过最大剪力需求的一半，且地震组合下的轴力  $P_u < A_g f'_c / 20$  时，忽略混凝土对抗剪承载力的贡献 (ACI 18.6.5.2, 18.6.4.1)，即  $V_c = 0$ 。

然后，程序计算抗剪配筋，流程如下：

If  $V_u \leq (V_c/2)\phi$ ,

$$\frac{A_v}{s} = 0, \quad (\text{ACI 9.6.3.1})$$

else if  $(V_c/2)\phi < V_u \leq \phi V_{max}$ ,

$$\frac{A_v}{s} = \frac{(V_u - \phi V_c)}{\phi f_{ys} d}, \quad (\text{ACI 22.5.1.1, 22.5.10.1, 20.5.10.5.3})$$

$$\frac{A_v}{s} \geq \max\left(\frac{0.75\sqrt{f'_c}}{f_{ys}} b_w, \frac{50}{f_{ys}} b_w\right) \quad (\text{ACI 9.6.3.3, Table 9.6.3.3})$$

else if  $V_u > \phi V_{max}$ ,

截面不满足要求。 (ACI 22.5.1.2)

上式中， $V_u$  即设计剪力， $V_{max}$  为剪力最大限值 (ACI 22.5.1.2)。强度折减系数对于抗震工况默认取 0.6、非抗震工况默认取 0.75 (ACI 21.2.1, 21.2.4)，强度折减系数可以通过设计首选项修改。注意，ETABS 不会校核箍筋最小间距、体积配箍率等要求，这部分工作由工程师自行校核。

## 2.2 计算抗扭钢筋

扭矩设计值来自荷载组合。注意程序不考虑由协调扭转 (即允许扭转开裂内力重分布) 而产生的扭矩折减 (ACI 22.7.3.3)，若用户想模拟类似协调扭转的效果，可以在模型中设置扭转自由度的释放，或自行折减扭转刚度。

根据规范要求，程序计算扭矩阈值  $T_{th}$  (ACI 22.7.4.1) 和开裂扭矩  $T_{cr}$  (ACI 22.7.5.1)，然后做以下判断：

若设计扭矩  $T_u < \phi T_{th}$ ，扭矩可忽略 (ACI 22.7.1.1, 9.6.4.1)；

若  $\phi T_{th} \leq T_u \leq \phi T_{cr}$ ，应满足最小配筋要求 (ACI 9.6.4.1)；

若  $T_u > \phi T_{cr}$ ，根据规范计算所需纵筋和箍筋，如下：

$$A_t = \frac{T_u p_h \tan \theta}{\phi 2 A_0 f_y \tan \theta} \quad (\text{ACI 22.7.6.1})$$

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u \tan \theta}{\phi 2 A_0 f_{ys}} \quad (\text{ACI 22.7.6.1})$$

式中， $30^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ ，程序默认取  $45^\circ$ 。同时，程序会验算受扭纵筋、箍筋的最小值要求 (ACI 9.6.4.1, 9.6.4.2)。注意，若箍筋不满足剪扭箍筋最小值要求，程序会自动增大抗剪箍筋，此时抗剪箍筋不必单独满足  $A_{svmin}$  要求 (ACI 9.6.3.3)。与前面抗剪配筋类似，程序完成的抗扭配筋设计仅基于强度计算，钢筋间距等构造要求需用户自行校核。

此外，剪扭共同作用验算公式如下：

$$\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w d}\right)^2 + \left(\frac{T_u p_h}{1.7 A_{oh}^2}\right)^2} \leq \phi \left(\frac{V_c}{b_w d} + 8\sqrt{f'_c}\right)$$

若不满足要求，程序将给出警告，用户需调整截面尺寸。



## 2.3 剪扭结果输出

通过菜单命令可以在视图中显示抗剪和抗扭配筋结果。同样，也可在设计细节中查看每个设计组合下，各个测站的剪扭设计细节信息，下文列出相关的表格，逐一介绍。

Rbar $A_{vs}$ mm <sup>2</sup> /m	Rbar $A_t/S$ mm <sup>2</sup> /m	Rbar $A_t$ mm <sup>2</sup>	Design $V_{u2}$ kN	Design $T_u$ kN-m	Design $M_{u3}$ kN-m	Design $P_u$ kN
700.25	0	0	190.3121	7.2404	-138.3797	0

上表是剪扭配筋面积和相应的设计内力。前两项分别是抗剪和抗扭箍筋的面积（注意是单位长度的面积），第三项是抗扭纵筋面积。

Factored $V_{u2}$ kN	Factored $M_{u3}$ kN-m	Design $V_{u2}$ kN	Capacity $V_p$ kN	Gravity $V_g$ kN
144.683	-221.0764	190.3121	56.5378	133.7743

上表是剪力设计值来源的相关数据。“Factored”代表来自荷载组合结果。“Capacity”代表由梁端抗弯能力计算的剪力，例如对于特殊抗弯框架，即梁端最大可能抗弯能力计算的剪力。“Gravity”代表重力工况下梁的剪力。

	Long.Rebar $A_s$ (Bottom) mm <sup>2</sup>	Long.Rebar $A_s$ (Top) mm <sup>2</sup>	Capacity Moment $M_{pos}$ kN-m	Capacity Moment $M_{neg}$ kN-m
Left	590	1306	146.0585	292.9642
Right	589	1315	145.7787	294.9361

上表是梁端抗弯能力的计算信息。包括梁两端纵筋面积，以及按此计算的最大抗弯承载力，例如对于特殊抗弯框架，即最大可能抗弯承载力。

Stress $v$ MPa	Conc.Capacity $v_c$ MPa	Uppr.Limit $v_{max}$ MPa	Conc.Capacity $\Phi v_c$ MPa	Uppr.Limit $\Phi v_{max}$ MPa	RebarArea $A_v/s$ mm <sup>2</sup> /m	Shear $\Phi V_c$ kN	Shear $\Phi V_s$ kN	Shear $\Phi V_n$ kN
1.52	0.91	4.55	0.68	3.41	700.25	85.2749	105.0371	190.3121

上表是抗剪箍筋的计算信息。包括设计剪力、混凝土部分的抗剪承载力、用于控制截面尺寸的最大剪力等。注意前面几项数据使用了剪应力单位。



### Torsion Capacity

Torsion	Threshold	Critical	Conc.Area	Conc.Area	Conc.Area	Perimeter	Perimeter
$T_u$	$\Phi T_{th}$	$\Phi T_{cr}$	$A_{cp}$	$A_{oh}$	$A_o$	$P_{cp}$	$P_h$
kN-m	kN-m	kN-m	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	mm	mm
7.2404	6.1872	24.7489	2407	742.8	631.4	3320	1244.4

上表是扭矩设计的相关信息。包括设计扭矩、扭矩阈值、开裂扭矩以及扭矩设计相关的截面属性。

## 3. 节点验算

程序会自动识别所有下方有混凝土柱的节点来进行节点验算，节点的材料属性默认与节点下方柱的材料相同。此外，还必须满足以下条件：

1. 框架类型是特殊抗弯框架；
2. 节点之上如果有柱，该柱是钢筋混凝土柱；
3. 节点处所有与柱相连的梁是钢筋混凝土梁；
4. 与节点相连的所有构件都有设计结果；
5. 荷载组合中含有地震工况。

### 3.1 节点剪力验算

节点区的有效面积一般为柱的宽度乘以深度（ACI 18.8.4.3），如果梁宽特别小，节点区有效宽度应不大于图 2 中的  $b+h$  以及  $b+2x$ 。程序通过将梁端的弯矩等效为拉力和压力，再结合柱的剪力，通过力的平衡来求得节点区的剪力（详细解释请参见 ETABS 自带的设计说明手册）。注意，这里的柱剪力对于特殊抗弯框架，是基于最大可能抗弯强度（来自梁的设计配筋或指定配筋）计算而得。最终，剪应力要满足 ACI 18.8.4.1 的要求，如下。

$$v = \begin{cases} 20\phi\lambda\sqrt{f'_c} & \text{for joints confined on all four sides,} \\ 15\phi\lambda\sqrt{f'_c} & \text{for joints confined on three faces or} \\ & \text{on two opposite faces,} \\ 12\phi\lambda\sqrt{f'_c} & \text{for all other joints,} \end{cases} \quad (\text{ACI 18.8.4.1, Table 18.8.4.1})$$

$\phi = 0.85$

式中， $\Phi$  是强度折减系数，默认取 0.85， $\lambda$  是轻质混凝土抗剪强度折减系数，默认取 1，在定义混凝土材料时可修改。

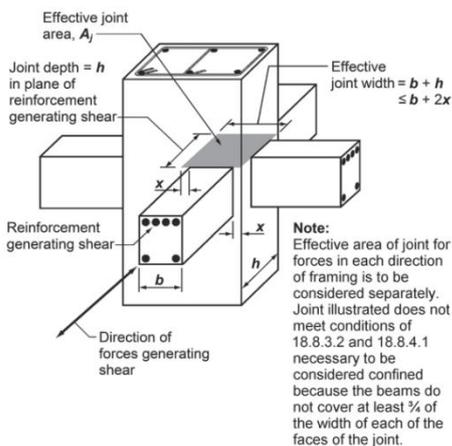


图 2 节点区有效面积（ACI Fig. R18.8.4）

Elevation View - A Joint Shear Capacity Ratios (ACI 318-14)

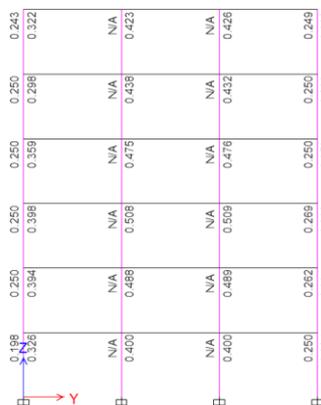


图 3 节点剪力验算结果显示



图 3 是 ETABS 显示的节点抗剪验算的剪力比率，每个节点显示其主轴、次轴方向的两个结果，比率小于 1 即满足要求，“N/A”代表数据不可得，通常因为该方向没有梁与之相交。在柱构件的设计细节中可查看节点抗剪细节，限于篇幅，以下仅列举部分主要数据。

Joint Shear Design			
	Joint Shear Ratio	Shear $V_{u,Top}$ kip	Shear $\phi V_c$ kip
Major Shear, $V_{u2}$	0.597	419.564	702.519
Minor Shear, $V_{u3}$	0.726	509.919	702.519

上表即节点抗剪验算结果，包括剪力比率、节点设计剪力、节点抗剪承载力。剪力比率=设计剪力/抗剪承载力。

Joint Shear Capacity					
	Joint Width in	Column Depth in	Joint Area in <sup>2</sup>	Allow.Shear $\phi v_c$ lb/in <sup>2</sup>	Capacity $\phi V_c$ kip
Major	33	33	1089	645.1	702.519
Minor	33	33	1089	645.1	702.519

上表是节点抗剪承载力的计算数据，包括节点区尺寸、有效面积、规范要求的允许剪应力、相应的抗剪承载力。

### 3.2 强柱弱梁验算

对于特殊抗弯框架，在节点处的所有梁、柱的抗弯承载力要满足 ACI 的要求，即  $\sum M_{nc} \geq \frac{6}{5} \sum M_{nb}$  (ACI 18.7.3.6)。这里，梁、柱的抗弯承载力均按名义强度计算。如图 4 所示，程序输出梁柱抗弯承载力比  $(\frac{6\sum M_{nb}}{5\sum M_{nc}})$ ，每个节点显示其主轴、次轴方向的两个结果，比率小于 1 即满足要求，“N/A”代表数据不可得，通常因为该方向没有梁与之相交。在柱构件的设计细节中可查看强柱弱梁验算数据，除了最终的梁柱抗弯承载力比，还包括节点处梁、柱的尺寸和配筋，以及各自的抗弯承载力等数据。限于篇幅，本文不再列举相关表格。

### 4 小结

综上所述，框架梁的设计重点是抗弯、抗剪（扭），程序根据框架类型（一般抗弯框架、中等抗弯框架、特殊抗弯框架）分别执行相应的计算，不同类型的区别主要体现在：最大（最小）配筋率、梁端的抗弯配筋要求、设计剪力取值等。节点验算则是只针对特殊抗弯框架的计算内容。此外，本文对 ETABS 输出的设计细节信息进行了解释，据此用户可更深入地了解程序的计算过程和结果。

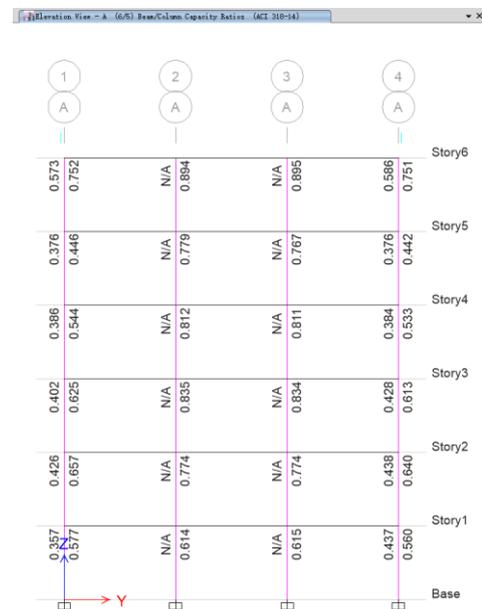


图 4 强柱弱梁验算结果显示

# 建筑结构连续倒塌分析在 SAP2000 中实现

筑信达 张振鹏 吴文博

结构的连续倒塌已成为严重威胁公共安全的重要问题，国家也出台了《建筑结构抗倒塌设计规范》（CECS392：2014）来指导设计人员进行抗倒塌设计。根据《建筑结构抗倒塌设计规范》（后简称规范），对于需要进行抗连续倒塌设计的建筑结构，有三种方法可供选择：拉结构件法、拆除构件法和局部加强法。其中拆除法中的非线性动力方法，具有简单易行又足够精确等优点，被很多工程师所采用。在最新的 SAP2000 V20.2.0 版本的时程分析中，新添加了 Consider Collapse 功能，可以很好的模拟规范相应条款的要求，并且操作简单。在此以一框架结构的抗连续倒塌分析为例，介绍新版 SAP2000 软件当中 Consider Collapse 法的具体操作步骤。

## 1 结构基本模型

案例模型为三层钢框架结构，X 向 3 跨，Y 向 2 跨，柱距均为 6m，层高 3m，如图 1 所示。

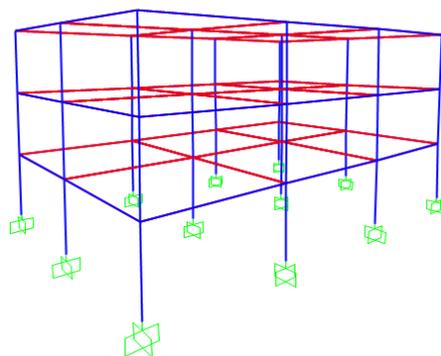


图 1 结构三维布置图

框架柱均为 YB-WH400X300X6X10 型钢，框架梁均为 GB-I24a 型钢，所用材料为 Q345，楼板为 200mm 厚的 C30 混凝土板，使用膜单元模拟，楼板恒荷载 1 KN/m<sup>2</sup>，楼面活荷载 3KN/m<sup>2</sup>。

### 1.1 非线性属性设置

本例中，仅考虑了框架结构中的梁柱可能失效，因此对结构中的所有梁柱构件均设置了塑性铰，其中梁采用默认的 M3 铰，柱采用默认的 P-M2-M3 铰，铰参数均依据美国规范 ASCE41-13 取用。



图 2-1 默认的 M3 铰

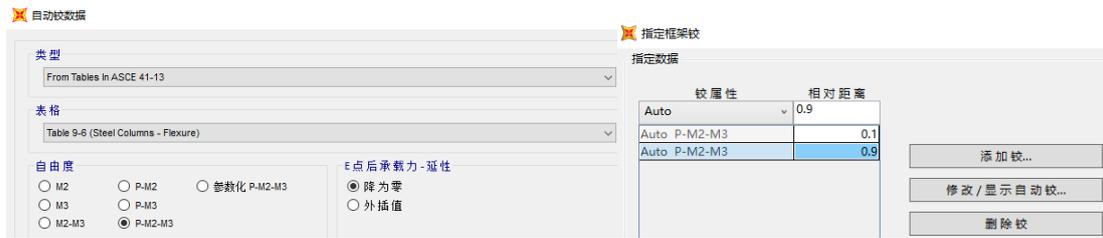


图 2-2 默认的 P-M2-M3 铰

## 1.2 质量源的定义

依据《规范》4.4.6 和 4.4.8 条，结构质量可设置为 1.0 恒荷载+0.5 活荷载，如图 3 所示。



图 3 质量源定义

## 2 规范拆除法的实现

规范拆除法的非线性动力方法大致可分为以下步骤（如图 4）：

- 1) 建立初始模型，确定失效构件，获取失效构件的节点力。
- 2) 建立等效静力模型，拆除掉失效构件，并在相应位置处施加反向节点力以维持结构平衡。
- 3) 以一定速度移除节点力，并进行非线性动力时程分析。

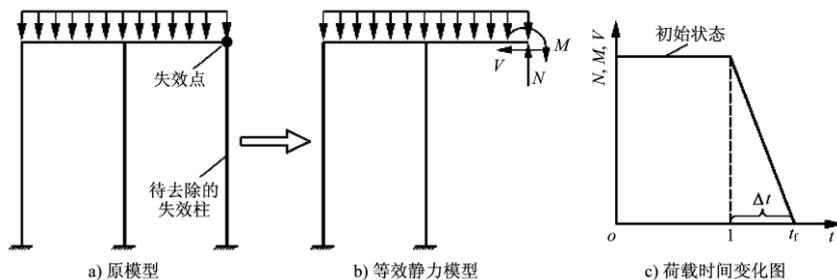


图 4 等效静力图示

以上过程在 SAP2000 早期版本中也是可以实现的，但是步骤略微复杂。以下方法一即早期版本的操作方法，方法二是当前 V20.2.0 版的方法。

### 2.1 方法一

首先确定失效构件，并获取失效构件的节点力。失效框架标签为“12”，失效节点标签为“42”。通过查看>表格>分析结果>单元输出>Frame Output>Table: Element Joint Forces-Frames 命令查取内力(如图 5-2)。



内力工况或组合应为 1.0 恒荷载+0.5 活荷载，注意，为了获取失效构件的等效节点力，这里的 D+0.5L 工况不适合使用非线性工况，不考虑 P-Δ 效应。

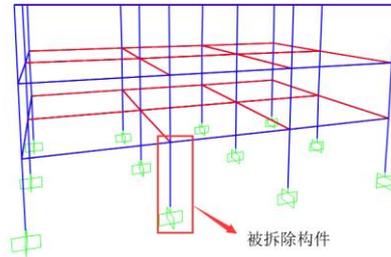


图 5-1 拆除构件

Frame Text	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	F1 KN	F2 KN	F3 KN	M1 KN-m	M2 KN-m	M3 KN-m	FrameElem Text
12	15	D+0.5L	LinStatic	-0.09	-0.372	421.188	0.3666	-0.074	-2.126E-08	12-1
12	42	D+0.5L	LinStatic	0.09	0.372	-419.275	0.7503	-0.1963	2.126E-08	12-1

图 5-2 拆除构件两端反力

然后建立等效静力模型，拆除掉失效构件，并在相应位置处施加反向节点力以维持结构平衡(如图 5-3)。定义新的荷载模式（节点反力）用于施加反向的节点力，这样方便后续时程工况进行调用。并在节点 42 处施加节点反力，节点反力与图 5-2 中节点力等大反号。原则上框架单元或壳单元的单元节点力包括力和力矩（共 6 个分量），实体单元则只有力（共 3 个分量），在此将 6 个分量全部考虑在内。

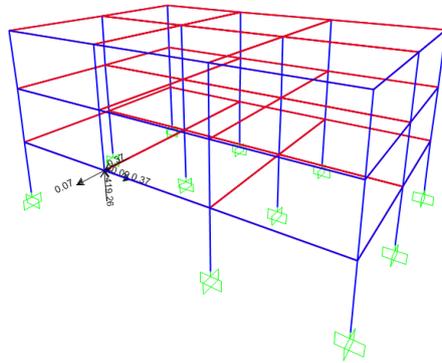


图 5-3 失效杆件内力与反内力

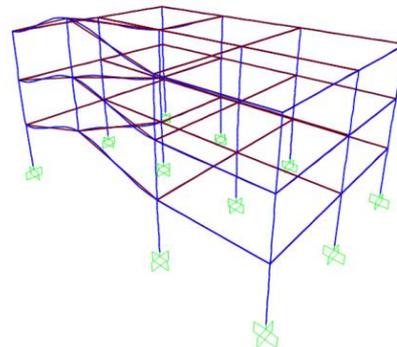


图 5-4 竖向基本周期对应的模态

以一定速度移除节点力，并进行非线性动力时程分析。根据规范要求，失效时间不超过剩余结构基本周期的 0.1 倍。注意：此处的基本周期应为剩余结构的竖向基本周期。经过模态分析，本例中第一阶竖向振动周期为约 0.65s，因此失效时间可取为 0.05s，时程函数可定义为 (0, 0), (1, 0), (1.05, -1)。在定义非线性时程分析工况之前，应先定义非线性前置静力工况，其中包含恒载、活载以及替代失效杆件的节点力 (1×恒载+0.5×活载+杆件内力)，用于模拟结构的初始状态。

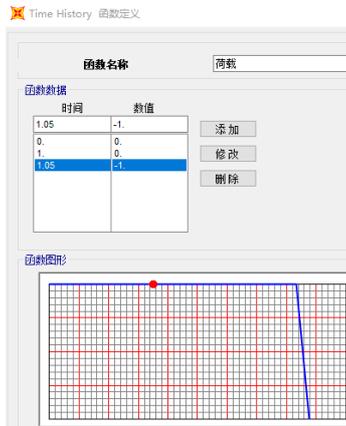


图 5-5 失效杆件时程函数

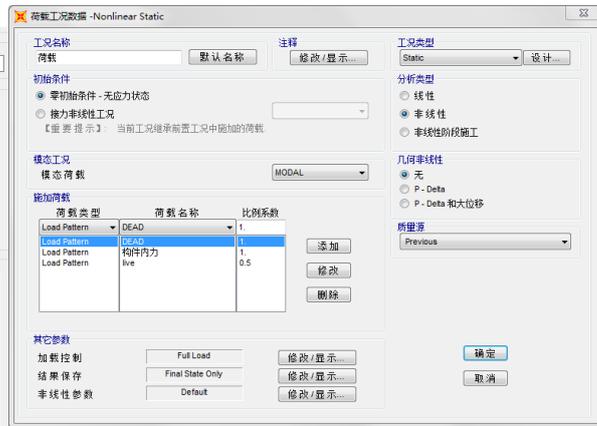


图 5-6 非线性静力工况

以非线性静力工况为前置工况，设置非线性时程工况，分析类型为非线性直接积分法。荷载类型选择为 Load Pattern，荷载名称选择为上文定义的构件内力，比例系数为 1，考虑几何非线性“P-Δ”（详规范 4.4.14），步长取为 0.005s（详规范 4.4.14）。另外结构阻尼可选用瑞利阻尼，钢结构阻尼比取为 0.02，设置可依据图 5-7。

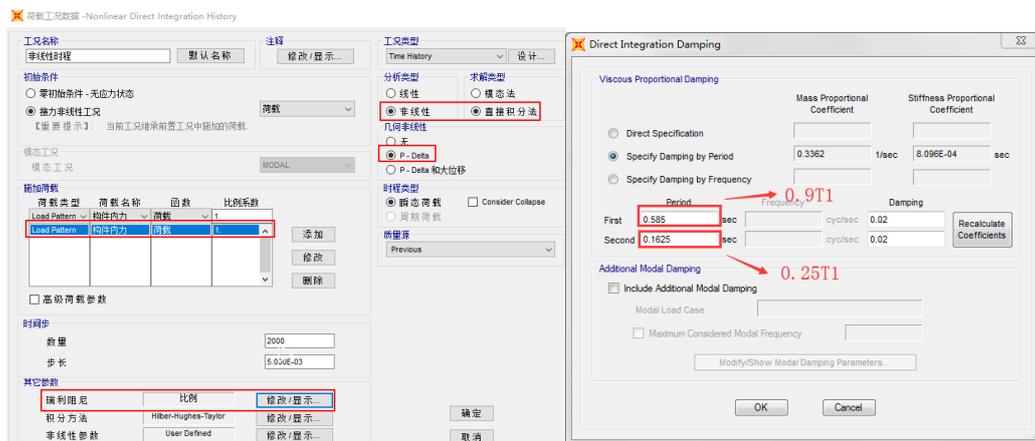


图 5-7 非线性时程工况与瑞利阻尼的设置

## 2.2 方法二

SAP 2000 V20.2.0 中的 Consider Collapse 法相比上文的方法简单许多，只需要在原始模型中，定义相应的工况即可。

首先，确定失效构件，并将此构件指定到相应的组中（GROUP1）。其次，定义前置重力工况，与前文非线性静力工况相同，但不包含失效杆件的等效内力。之后定义非线性时程工况，与前文中不同的是，时程类型须勾选 Consider Collapse，在左边的对话框（Object to Remove）中，第一项选择为 Group，第二项选择为 GROUP1，移除时间（Removal Time）选为 1s，持续时间（Duration）选为 0.05s，其他与上文一致，如图 5-8 所示。其中，移除时间对于只移除单根构件来讲意义不大，此项更多是用于不同时间移除多根构件，持续时间是指拆除当前构件所需的时间。

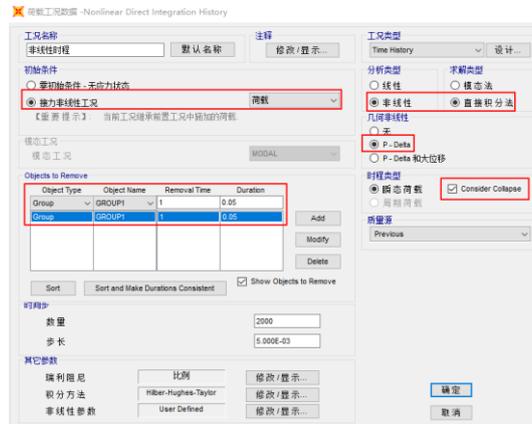


图 5-8 加入 Consider Collapse 的时程工况

### 2.3 结果分析

我们以失效柱顶节点 42 为参考点，参考点的 z 方向位移为比较对象，对比两者之间的差别：

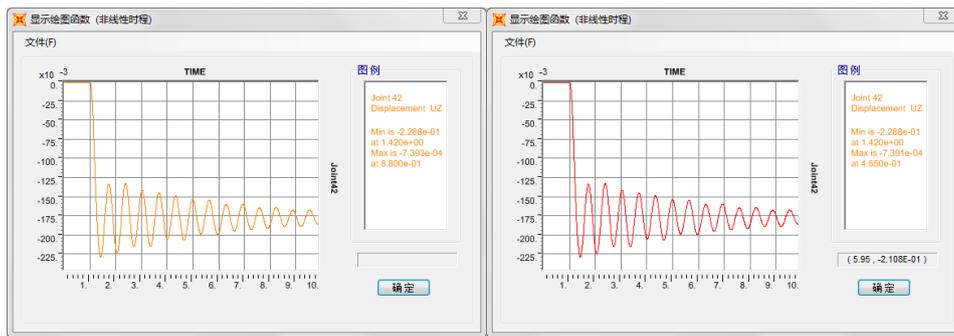


图 6-1 方法一

图 6-2 方法二

将数据放置在图表当中，我们发现两者几乎一样，误差不超过 0.001%。方法二的操作步骤比方法一简便得多。

规范是通过较塑性转角来判定结构是否发生破坏（详规范 4.4.18），但我国规范中的限值要求与美国规范 ASCE41-13 的性能准则判定有所不同，但一般可按照性能水准不超过 LS 作为判断依据（如图 7-1）。用户也可以根据较结果自行判定（如图 7-2）。

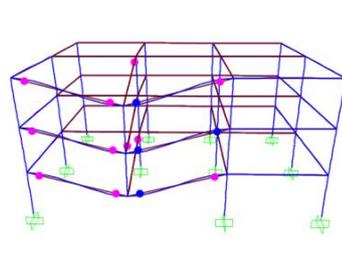


图 7-1 最终时刻结构的出铰状态

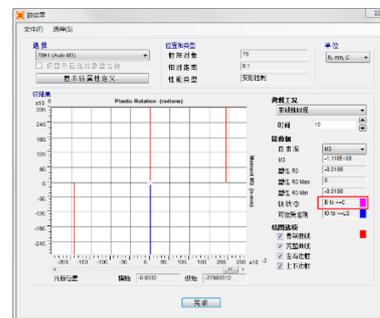


图 7-2 铰状态

### 3 结语

虽然旧版本的 SAP2000 也可以实现抗连续倒塌分析，但是新版 SAP2000 当中的 Consider Collapse 法更加便捷，功能也更加强大。新的方法无需建立等效模型，因此可以非常方便的在原始模型中进行多次拆除，并且还可以实现同一工况中，在不同时间拆除多个构件，这是传统方法很难实现的。

# CSiBridge 导向结构的功能及应用

筑信达 吕良

桥梁的施工过程决定了桥梁最终的受力状态，因此如何准确的模拟桥梁在施工过程中各个状态的变化是工程师致力于解决的问题。

早期版本的 CSiBridge 在进行施工阶段分析时，只有**添加结构**（Add Structure）这项功能可用于模拟在不同的施工阶段激活不同的结构组或者对象。对于常规混凝土梁桥，该功能已能较为精确的模拟结构在不同阶段结构形式的改变。但是对于斜拉桥结构，该功能却存在一些不合理的地方。

普通混凝土梁桥主要受弯，在施工阶段会依据预供度及施工条件调整各个施工节段主梁的标高，并没有严格限定各个梁段保持结构平直。与常规梁桥不同，斜拉桥主梁既受弯也受压，为避免在主梁内产生较大的次应力，一般要求主梁保持平直。因此在施工阶段，后施工的梁段需要考虑之前施工梁段的影响。直接采用（Add Structure）做施工阶段分析时，激活的新结构会位于该结构未发生变形前的位置。这会导致相邻界面上的连接单元会发生扭曲，与斜拉桥“梁平塔直”的要求不符合。

为了避免上述问题引以的结构变形不连续，老版 CSiBridge 在进行斜拉桥施工阶段分析时，需要进行一些手动操作，较为繁琐。但是在 CSiBridge V19.2.1 及之后的版本中软件添加了一个新的功能：**添加导向结构**（Add Guide Structure）。该功能的原理是在进行施工阶段分析时，先将结构在其施工阶段前激活，激活时为该结构指定一个很小的刚度折减系数，并且激活的该结构时不施加任何荷载，包括自重及时间效应。在后续相应的施工阶段**使用添加结构**（Add Structure）激活这些结构时，将对应结构的刚度恢复至正常值。该功能实现了新激活的构件与已经激活的结构变形保持一致。在使用该功能模拟斜拉桥悬臂施工时，可以先将悬臂施工段通过**导向结构**（Add Guide Structure）添加到模型中，然后再通过添加结构（Add Structure）逐个节段激活，便能真实模拟斜拉桥悬臂施工段实际情况。

本文主要从导向结构的功能及应用来介绍该功能。首先通过一个简单的斜拉桥模型，分别采用导向结构（Add Guide Structure）和添加结构（Add Structure）做施工阶段分析，介绍其功能特点。然后针对该模型，采用导向结构（Add Guide Structure）功能，结合 CSiBridge 荷载优化器，介绍 CSiBridge 在斜拉桥施工阶段分析中的应用。

## 1 工程背景介绍

该模型为 2×100m 独塔斜拉桥，左右对称设计。拉索采用斜向双面布置，两侧各布置 9 组斜拉索。主梁为钢箱梁，宽 8.4m，由拉索均匀分成 10 个节段，每个节段长 10m。主塔采用单柱式塔柱，以桥面为基准面，桥塔顶部标高为 50m，桥墩底面标高为-20。梁及主塔采用梁单元建立，拉索采用索单元建立，模型分析模型如图 1-1 所示。

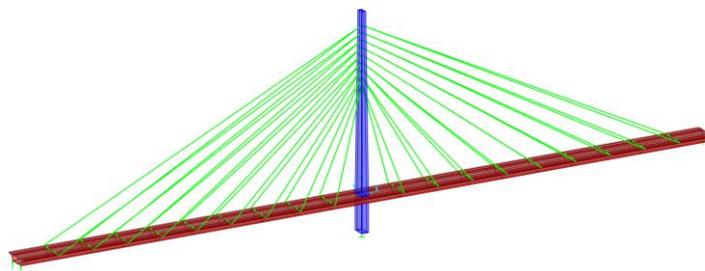


图 1-1 分析模型图

该斜拉桥采用支架进行分段施工，具体施工步骤如下：

- 1) 浇筑桥梁基础及主塔柱，并进行养护；
- 2) 架设支架安装 1 号段，待安装完成后，张拉 1 号块斜拉索，然后拆除 1 号块支架；
- 3) 依次对 2~9 号节段进行施工，分别按搭设支架、安装节段、养护、张拉斜拉索、拆除支架的顺序进行，形成 9 × 10m 对称悬臂结构；
- 4) 架设两端边支架并进行预压，架设主梁 10 号段，安装 10 号段支座，完成桥梁主体结构施工。

## 2 导向结构的功能介绍

现采用 CSiBridge 模拟该桥梁结构在形成  $9 \times 10\text{m}$  对称悬臂结构过程中不同的施工状态下的变化，分别采用导向结构(Add Guide Structure)和添加结构(Add Structure)两种方式来模拟，并提取各个阶段下结构产生的弯矩及位移。需要注意的是，该分析过程仅为说明导向结构的功能，并未考虑斜拉桥正装施工并调整索力的问题，因此所有的索力均保持默认值。

在安装主梁节段过程中，假设在新安装的主梁在张拉斜拉索之前，新安装段的重力全部由支架承担，直到张拉完成之后，该节段才完全脱离支架承受荷载。因此，为模拟支架对新安装节段的支撑作用，在建模时采用先不激活结构的自重。待斜拉索张拉完成之后，同时激活新安装节段的重力荷载和斜拉索张拉荷载。

分别在 CSiBridge 设置两个施工阶段分析工况，其中“add”工况采用添加结构(Add Structure)做施工阶段分析，“guide”工况和“add”工况一致，仅在最开始阶段将主梁通过导向结构功能激活，如图 2-1 所示。

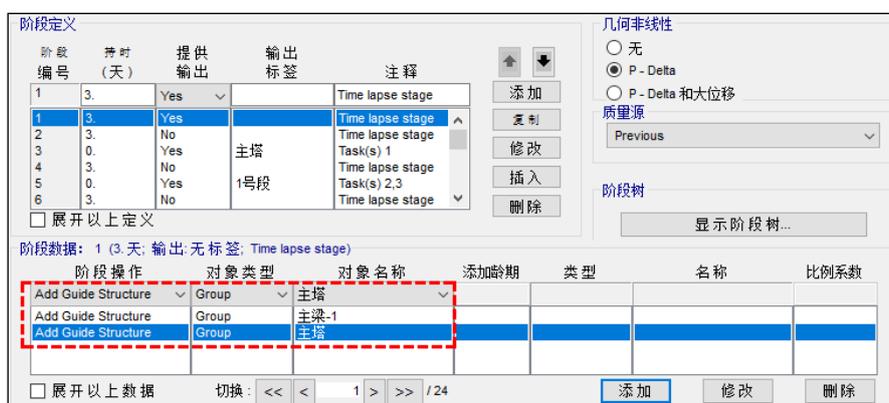
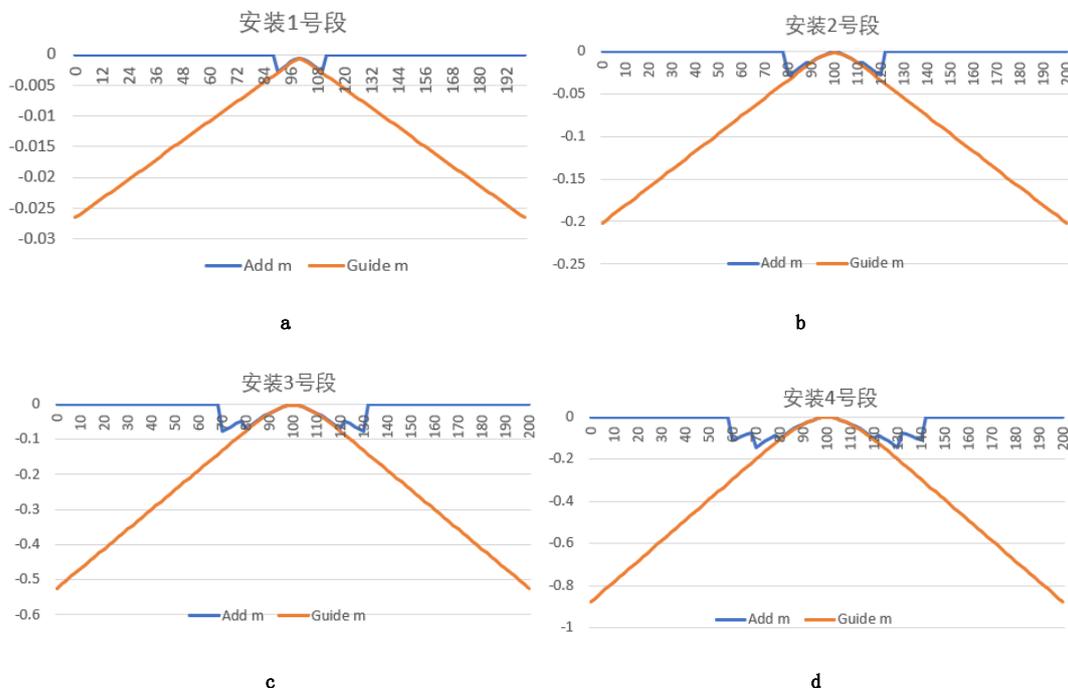


图 2-1 设置导向结构工况

将两个工况进行运行分析，分别将主梁在每一个阶段的位移值提取出来，放入一个表格中对比分析，如下如所示。其中“Add”表示直接采用(Add Structure)分析结果，“Guide”表示采用导向结构(Add Guide Structure)分析结果。



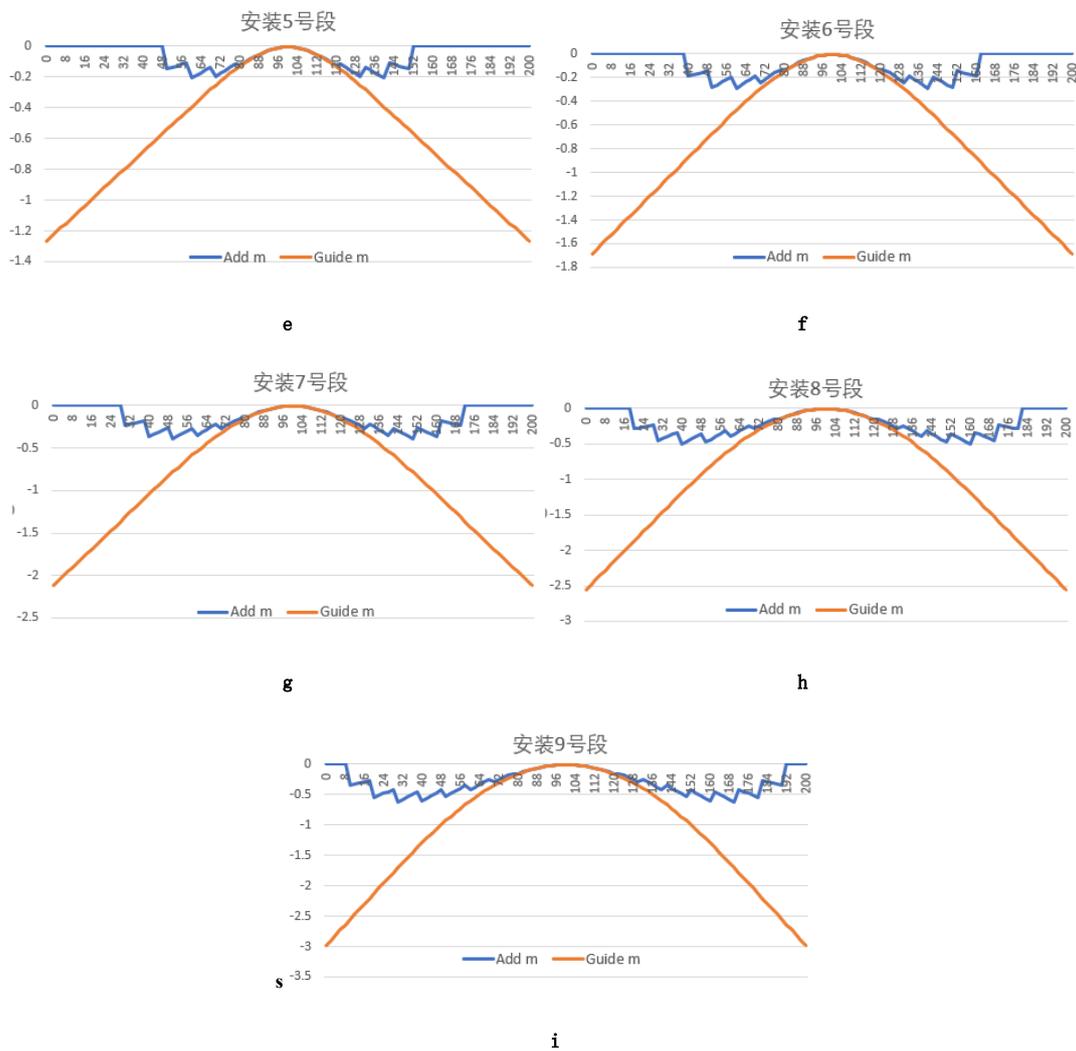


图 2-2 各施工阶段主竖向位移值

在第一阶段仅激活“1号块”时，如图 2-2a 所示。由于采用（Add Guide Structure）是先激活了主塔及 9×10m 对称悬臂结构内的所有结构段，所以整个结构内所有的控制节点均产生了竖向位移，产生的位移形式与悬臂结构一致。但是在“1号块”范围内，两种方式模拟产生的节点位移一致。表明通过（Add Guide Structure）激活的“1号块”以外的结构并没有对“0号块”施加任何荷载。

在第二阶段仅激活“2号块”时，如图 2-2b 所示。两种方式模拟得出的节点位移并不重合。采用（Add Structure）激活的结构在“1号块”和“2号块”接触面位置，节点位移发生突变，变形不协调。这是由于新添加的“2号块”激活时位于“2号块”未发生变形时的位置，但是“1号块”已经发生变形，接触面上为了保证结构的连续会导致该位置的单元发生扭曲，最后形成如图中所示的折线形状。

而通过（Add Guide Structure）方式添加时，由于结构已在之前添加，前置施工段产生的变形也会对该分段产生相应的变形，新激活的“2号块”沿“1号块”的切线方向添加，两者变形相协调。激活“2号块”时仅修改了该段结构刚度及添加相应的荷载，因此该段的变形与“1号块”是平滑的。

斜拉桥在施工过程中需要保持相邻的安装的主梁竖向位移不会在接触面发生突变，而整体的梁端的竖向位移可通过拉索来调整，使整个梁的变形一致，以减小梁截面不平整引起的次应力。因此，采用导向结构（Add Guide Structure）来模拟斜拉桥的施工才是合理的。

另外，通过（Add Guide Structure）方式添加“2号段”的变形由两部分构成，一部分是与协调“1号块”产生的变形，另一部分是由于“1号块”本身产生的变形，因此其结构的变形量是大于采用直接添加（Add Structure）的方式模拟。并且随着施工阶段的逐渐增加，后续添加的结构在采用这两种方式模拟时两者的竖向位移差别会越来越来。由图 2-2 c 至 i 中可以看

出，激活“9号块”时，两种模拟产生的端点竖向位移差别最大。

### 3 导向结构的功能应用

一般进行斜拉桥的设计时，需要确定能满足成桥阶段设计条件(主梁弯矩分布均匀、索塔弯矩较小作用、索力分布均匀)的各施工阶段索的张力，因此需要进行较为精确的施工阶段分析。之前曾介绍过如何通过 CSiBridge 中荷载优化器找出斜拉桥的最优成桥状态，该功能也同样可以用于斜拉桥的施工阶段分析。

依据上述模型，采用导向结构 (Add Guide Structure) 功能建立正装施工的分析工况“正装”，在该工况中可以考虑混凝土的时间效应。然后打开荷载优化器，选择荷载工况为“正装”如下图所示。

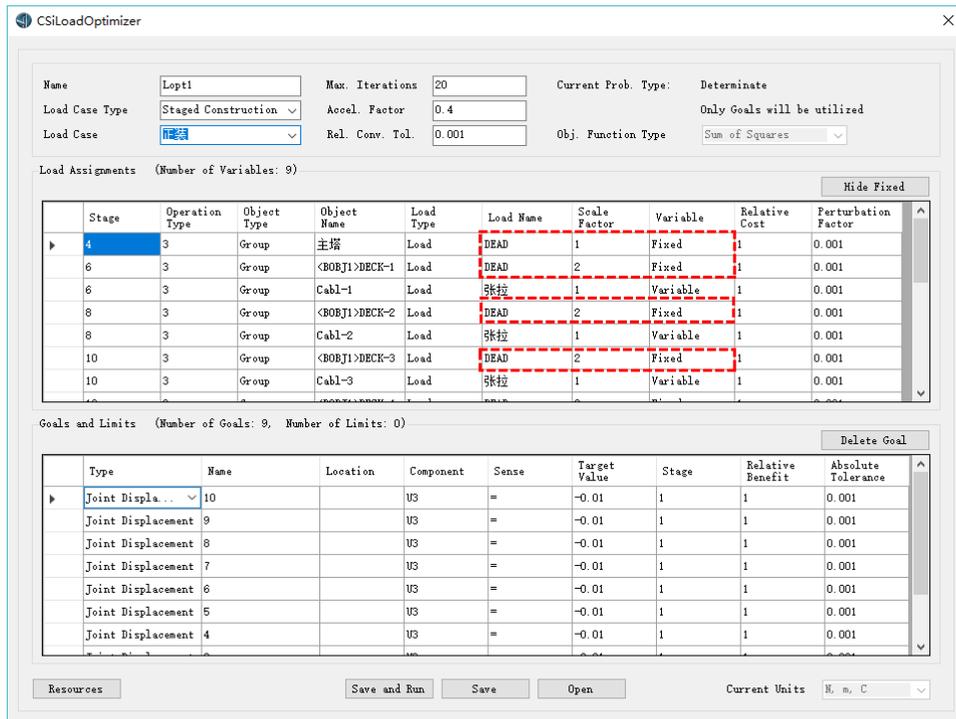


图 3-1 施工优化

该斜拉桥所有初始索力均设置为-0.001 初始应变荷载（负值表示将索拉紧），并将梁重放大两倍来考虑结构的二期荷载。在该优化工况中，结构自重为不可变化量，因此需要将其设置为“Fixed”；仅索力为可变化量，即优化对象。由于该斜拉桥为对称结构，因此仅需优化一侧的索力，另一侧的索力与其保持一致即可。同样当一侧的结构达到最优状态，另一侧的结构同样也会达到最优状态。索塔位于桥梁对称中心，受力也对称，无需将其设置为优化目标。因此仅需保持主梁平整即可使全桥达到最优成桥状态，这里设置主梁 9 个拉索连接处的竖向位移为优化目标，设置拉索目标位移值为-0.01m。该模型总共由 9 个优化对象，即 9 对预应力索力；9 个优化目标，即 9 对拉索连接点。

设置完成后，既可运行施工阶段的索力优化。荷载优化器基于影响矩阵的原理，在指定优化目标（可以为节点位移、节点反力、结构弯矩等）和优化变量（可以为斜拉索等）后，形成影响矩阵。通过多次迭代计算，调整结构的优化变量，使优化目标值落入收敛误差之内，完成优化，找到符合目标条件的成桥状态。

运行完成后，在工况设置中可以查看优化结果。未优化前初始索力均为-0.001 初始应变荷载，比例系数为 1，优化后每组索力的比例系数将发生改变。如图 3-2 中，2 号拉索的比例系数由 1 变成了 5.2829。优化索力即为比例系数乘以初始索力值，则 2 号拉索的优化索力为 5.2829 的应变荷载。

在显示窗口中，可以依次查看各个阶段的主梁的弯矩变化，核查软件计算的索力值是否满足最优成桥状态的要求。软件最终的成桥状态如图 3-3 所示，由图中可以看出成桥时主梁的弯矩分布较为均匀，各个斜拉索的索力分布如图 3-4 所示，索力分布较为合理。



阶段数据: 8 (0 天; 输出: 2号段; Task(s) 5,6)

阶段操作	对象类型	对象名称	添加龄期	类型	名称	比例系数
Add Structure	Group	<BOBJ1>DECK-2	3.			
Add Structure	Group	<BOBJ1>DECK-2	3.			
Load Objects If Added	Group	<BOBJ1>DECK-2		Load Pattern	DEAD	2.
Add Structure	Group	Cabl-2	0.			
Load Objects If Added	Group	Cabl-2		Load Pattern	张拉	5.2829

图 3-2 优化结果

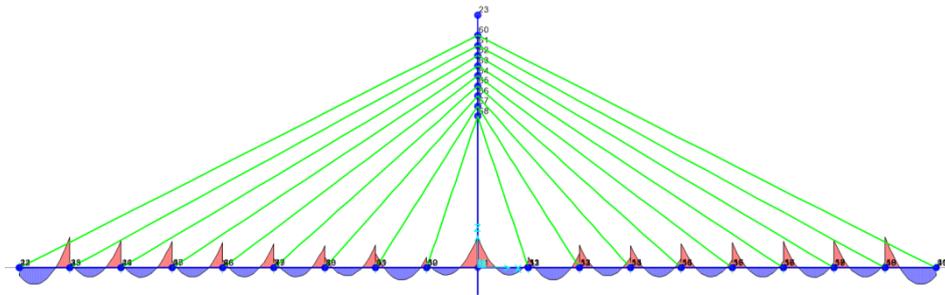


图 3-3 最终成桥状态

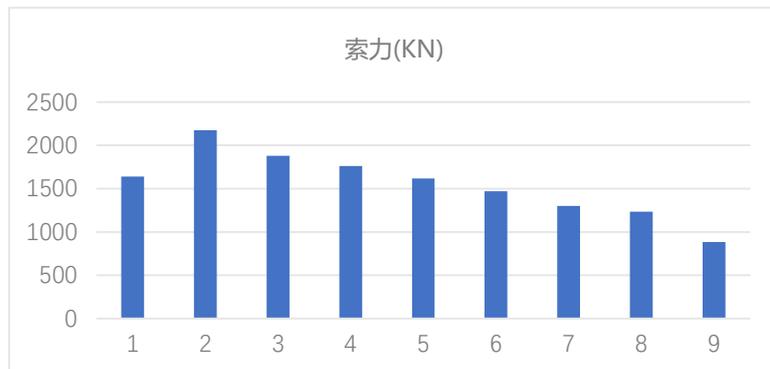


图 3-4 索力分布

## 4 结语

由上述介绍可知, 采用导向结构 (Add Guide Structure) 功能进行施工阶段分析时, 能使新添加节段沿前一施工节段切向方向添加, 与斜拉桥施工时保持“梁平”的要求相符。采用导向结构 (Add Guide Structure) 功能做斜拉桥正装施工的分析时, 可结合软件的荷载优化器功能, 在考虑结构体系不断变化的条件下, 快速帮助工程师找到施工阶段各个斜拉索的合理索力值。

# H 型钢腹板连接方式的对比

筑信达 张志国

根据最新的《钢结构设计标准 GB 50017-2017》第 11.1.2 条规定：“同一连接部位中不得采用普通螺栓或承压型高强度螺栓与焊缝共用的连接；在改、扩建工程中作为加固补强措施，可采用摩擦型高强度螺栓与焊缝承受同一作用力的栓焊并用连接。”整体来讲，栓焊混合连接在实际工程中的应用并不多见，广大工程师对于螺栓和焊缝共同受力的工作机理和承载规律也缺乏足够的认识。

由于缺乏关于栓焊混合连接的应用经验和规范条文，工程师往往需要借助于物理试验或数值仿真进行分析和研究。由于物理试验耗时费力、成本颇高，近年来数值仿真技术越来越受欢迎。但是，传统的通用有限元软件（如 ANSYS、ABAQUS）在钢结构节点的几何建模、组件模拟和设计校核等方面均略有不足，且门槛高、上手难、学习成本大，令部分工程师望而却步。

IDEA（全称 IDEA StatiCa Connection）是一款全新的钢结构节点设计与分析软件，它采用基于构件和操作（Operation）的流程化建模，整个几何建模过程如同在生产车间内逐步加工制造整个钢节点。因此，用户在数分钟之内即可创建复杂的钢节点模型并完成加载、分析、校核及输出报告等各项工作。

综上，本文拟采用专业的钢结构节点设计与分析软件 IDEA 对栓焊混合连接进行仿真模拟，深入了解螺栓和焊缝共同作用的工作机理和承载规律。以图 1 所示的梁柱节点为例，H 型钢梁的腹板和连接板分别采用螺栓、焊缝以及栓焊混合三种连接方式。本文将对比以下三种连接方式下的节点承载力，同时量化分析栓焊混合连接中的螺栓和焊缝的剪力分配规律。

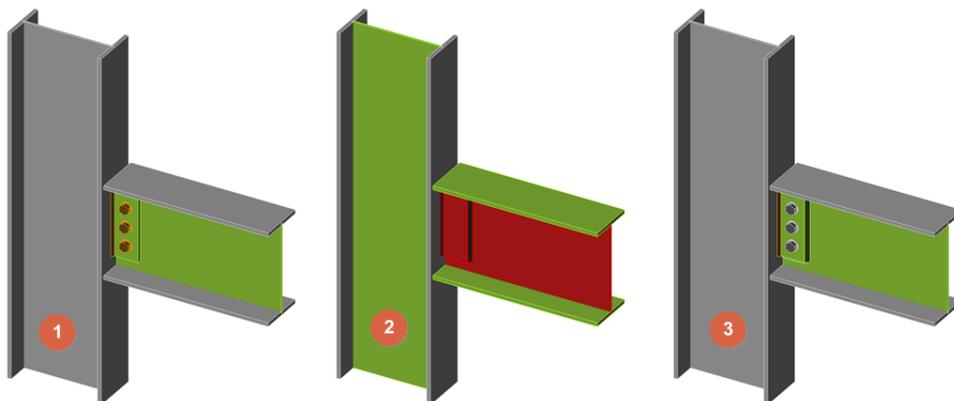


图 1 H 型钢腹板连接的三种方式

## 1 IDEA 概述

IDEA 采用基于组件的有限元模型（Component Based Finite Element Model, CBFEM）计算钢节点的应力/应变。与通用的有限元软件（如 ANSYS、ABAQUS）相比，IDEA 的专业化程度更高。它既可以快速创建和修改钢节点的几何模型（如图 2 所示），也可以根据不同国家或地区的设计规范校核节点组件。

同时，与传统的组件法（CM）相比，IDEA 又具有通用性、高效性和全面性的绝对优势。除常规的应力/应变分析外，IDEA 还可以进行屈曲分析、刚度分析以及节点承载力分析。

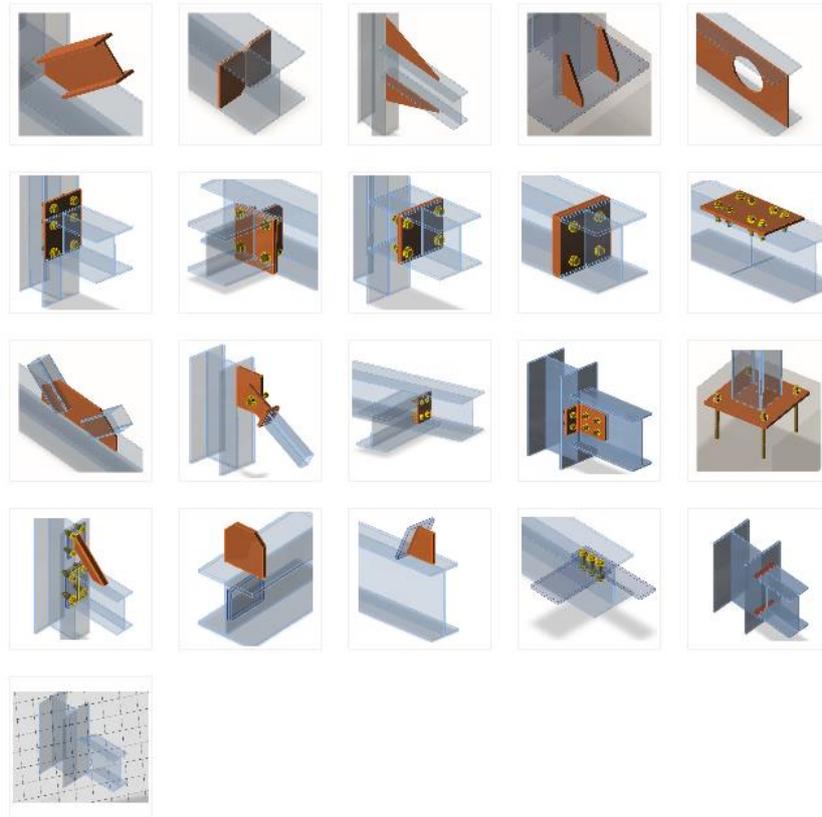


图 2 IDEA 中的操作类型

IDEA 支持基于美标 AISC、欧标 EN 以及加拿大规范 CISC 的节点校核，包括：螺栓和锚栓校核、焊缝校核、柱脚节点的混凝土校核等。另外，IDEA 还可以提供一份详尽的可定制的输出报告，供用户导出为 DOC、PDF 或 DXF 格式。为了更加高效准确地对复杂钢节点进行建模和加载，IDEA 提供了丰富多样的 BIM 接口供用户选择。目前，IDEA 支持各种主流的 CAD/CAE 软件，如：Tekla、ETABS、SAP2000、Midas、Revit 以及 STAAD.Pro 等等。

## 2 计算模型

本文中的梁柱构件均采用 H 型钢轧制截面（H400x200x12x16），如图 3 所示。除此之外，连接板厚度 20mm，焊缝（三面围焊）厚度 7mm；螺栓直径 24mm，性能等级 10.9。如前文所述，根据《钢结构设计标准 GB 50017-2017》中相关条文的规定，本文采用摩擦型高强度螺栓且摩擦面的抗滑移系数  $\mu$  取 0.5。

假设作用于梁端的竖向剪力为 100kN，在此基础上对比三种连接方式下的节点承载力。针对栓焊混合连接，着重研究在梁端剪力逐步增加的过程中螺栓和焊缝各自分担的剪力变化。



▼ Rolled I	
<b>Name</b>	I400
▼ Geometry	
<b>Height [mm]</b>	400
<b>Width [mm]</b>	200
<b>Flange thickness [mm]</b>	16
<b>Flange taper [°]</b>	0.0
<b>Web thickness [mm]</b>	12
<b>Web-flange joint radius [mm]</b>	0
<b>Flange bevel radius [mm]</b>	0
▼ Material	
<b>Steel</b>	S 355

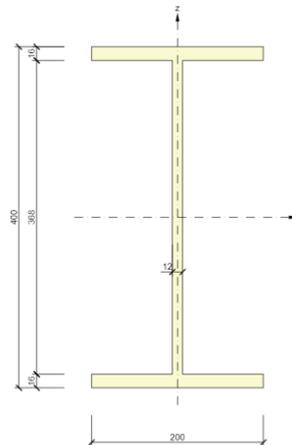


图3 梁柱截面示意图

### 3 节点承载力

节点承载力分析用于判断当前设计荷载与节点最大承载力之间的相对比值，也就是计算当前节点设计的冗余度。对于本例，IDEA 以梁端剪力的缩放百分数表示，三种连接方式下的节点承载力如下所示：

- 螺栓连接：287kN（287%）
- 焊缝连接：850.8kN（850.8%）
- 栓焊混合连接：904.9kN（904.9%）

可以看出，栓焊混合连接的节点承载力大于单独的螺栓连接或单独的焊缝连接，但小于后两者之和（1137.8kN）。对于栓焊混合连接，承载力极限状态（904.9kN）下三个螺栓承担的剪力分别为：中间螺栓 96.7kN；顶部螺栓 96kN；底部螺栓 89.8kN，如图 4 所示。三者之和（282.5kN）接近于螺栓连接的承载力（287kN），约为总剪力（904.9kN）的 31.2%。换言之，焊缝承担的剪力为 622.4kN，小于焊缝连接的承载力 850.8kN。

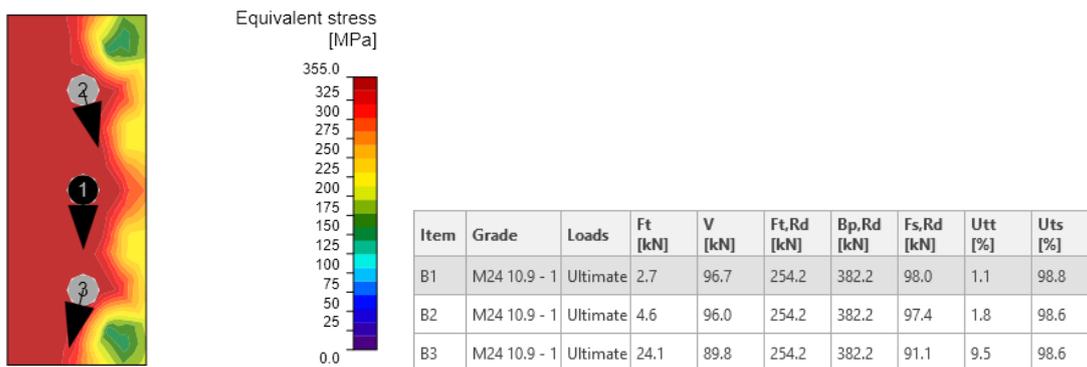


图4 栓焊混合连接中的螺栓剪力

栓焊混合连接中焊缝承担的剪力小于焊缝连接的节点承载力，其原因与焊缝的应力分布形式有关。如图 5 所示，焊缝连接中竖向焊缝的应力分布较为均匀（接近于矩形分布）；而栓焊混合连接中竖向焊缝的应力分布则表现地更加“参差不齐”，最大应力（427.2MPa）与最小应力（277MPa）相差约 150MPa。

由于 IDEA 基于焊缝应力的最大值而非平均值进行强度校核，故焊缝连接对焊缝的利用率更高，承担的剪力也更大。栓焊混合连接中螺栓的存在对焊缝的应力分布有所影响，导致一定程度的“应力集中”，进而降低了焊缝的利用率及其承担的剪力。

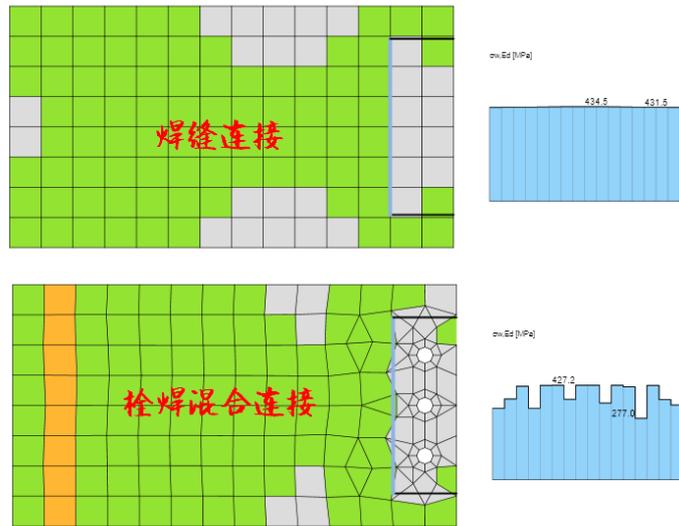


图 5 竖向焊缝的应力分布形式

#### 4 栓焊剪力分配

如下表所示，对比不同梁端剪力（100kN~904.9kN）作用下，栓焊混合连接中螺栓承担的总剪力及其占比。可以看出，当梁端剪力较小时，螺栓承担的总剪力占比基本保持不变（40%左右）。但是，当螺栓承担的总剪力接近（纯）螺栓连接的承载力（287kN）时，其占比明显减小直至 31.2%，即焊缝逐渐分担更多的剪力。

梁端剪力 (kN)	螺栓剪力 (kN)			总剪力 (kN) 及占比 (%)	
	中间螺栓	顶部螺栓	底部螺栓		
100	13.5	13.2	13.6	40.3	40.3%
200	27.0	26.5	27.3	80.8	40.4%
300	40.5	39.8	41.0	121.3	40.4%
400	54.3	53.6	55.0	162.9	40.7%
500	68.7	68.1	69.8	206.6	41.3%
600	83.9	83.4	85.1	252.4	42.1%
700	96.3	95.4	94.8	286.5	40.9%
800	96.5	95.2	94.1	285.8	35.7%
904.9	96.7	96.0	89.8	282.5	31.2%

#### 5 小结

本文采用钢结构节点设计与分析软件 IDEA 对 H 型钢梁腹板连接的三种方式进行仿真模拟，用以分析和研究栓焊混合连接的工作机制和承载规律。

整体来讲，栓焊混合连接的节点承载力大于焊缝连接或螺栓连接，但小于后两者之和。另外，栓焊混合连接中螺栓和焊缝各自承担的总剪力占比在梁端剪力较小时基本保持不变；但随着螺栓承担的总剪力逐渐接近其承载力后，焊缝将分担更多的剪力。

# DeepEX 中土压力的计算方法

筑信达 詹毕顺 张志国

## 1 概述

DeepEX 是一款界面友好、性能稳定的支护结构设计软件。它能够进行深基坑工程的岩土和结构设计，也能进行土钉墙边坡的稳定性分析。在 DeepEX 的帮助下，工程师可以方便快捷地设计出任何复杂的支护系统。其支持多国规范，包括美国规范、欧洲规范和中国规范，在全世界范围内得到了广泛应用。

对于深基坑设计软件而言，土压力计算在其分析设计中的重要性不言而喻。但是，土压力计算本身又是一个比较困难的事，因为超载、地震、地形起伏、结构与土体之间摩擦等多种因素都会影响其计算结果以及准确性。而 DeepEX 在土压力计算时，能够考虑上述多种因素的影响，根据模型实际情况选择恰当的土压力计算方法，从而保证计算结果的适用性和准确性。

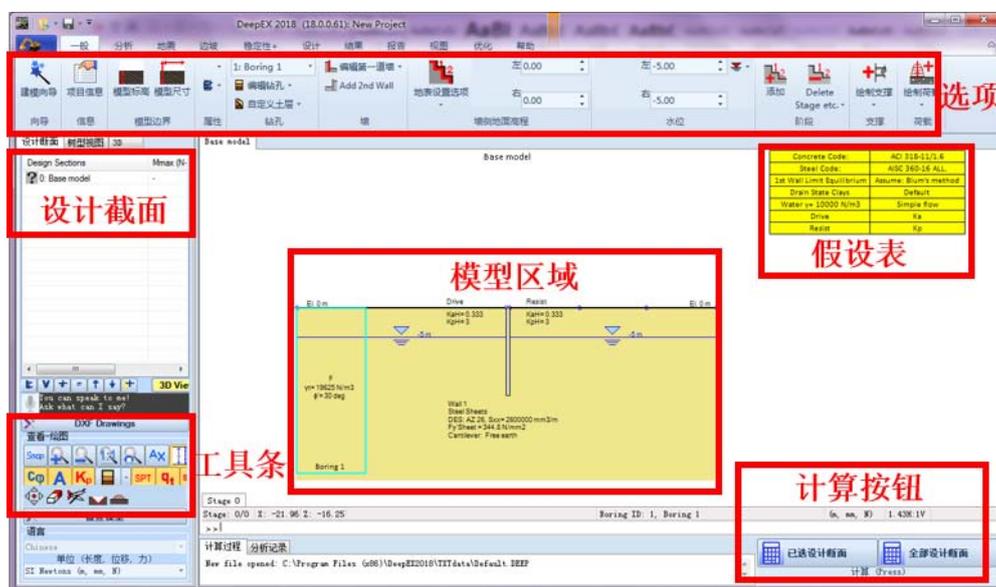


图 1 DeepEX 软件界面

## 2 方便快捷的土压力计算

DeepEX 中内置多种土压力计算方法，以考虑上述多种因素对土压力的影响。其中包括库伦土压力理论、朗肯土压力理论以及 Caquot 理论等，这些理论都是应用于极限平衡分析中，当然 DeepEX 中也可以应用有限元方法求解土压力。但在支护结构设计中，极限平衡分析方法计算简单，耗时较少，能够满足设计要求。因此，本文主要介绍极限平衡分析时土压力计算方法，且限于篇幅，重点介绍超载、地形以及地震因素对土压力的影响。

默认情况下，DeepEX 会根据程序中土体参数、地表情况、墙面摩擦角、地震等，自动选择合适的土压力计算方法，从而省去了设计人员自行选择计算方法，设定计算参数，简化操作过程，提高效率。

### 2.1 考虑超载影响

在基坑工程中，由于周边施工堆载、建筑物、车辆等等，使得计算土压力时我们不得不考虑超载对土压力的放大作用。根据超载形式，可以将其分为条形超载、矩形超载、线超载、匀布面超载以及集中超载等。对于匀布面超载、条形超载等计算较为简便，手算也能很快得到结果，但是对于周围建筑物超载来说，



手算几乎不可能，此时就显示出 DeepEX 的强大功能。DeepEX 能够在建筑物向导菜单（如图 2 所示）中设置三维建筑物荷载，包括建筑物的尺寸、楼层数、楼面荷载、楼板宽度材料、基础尺寸等等，从而精确建立建筑物模型，建筑物模型建立之后，分析计算，即可求得建筑物产生的墙上超载，如图 3 所示。



图 2 三维建筑物向导菜单

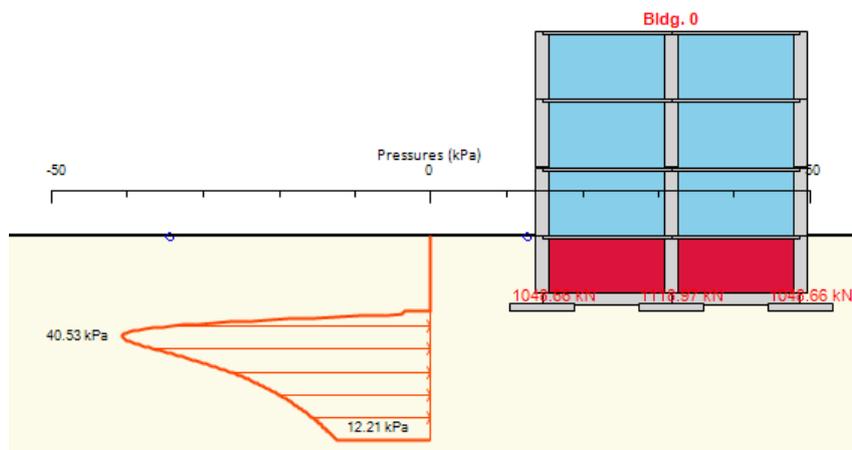


图 3 建筑物产生超载

## 2.2 考虑地形影响

实际工程中地形复杂，地表形式多样，很难保证全部为水平地表。对于倾斜地表，DeepEX 程序会根据倾斜情况自主判断主/被动侧，根据地表以及墙面摩擦情况，选择合适方法计算主/被动土压力系数。默认情况下，用户不用做特殊设置，程序会自动选择合适的计算方法，快速得出计算结果。

下面以地表倾斜  $18^\circ$  情况为例，显示非水平地表时土压力的计算结果，如图 4 所示。

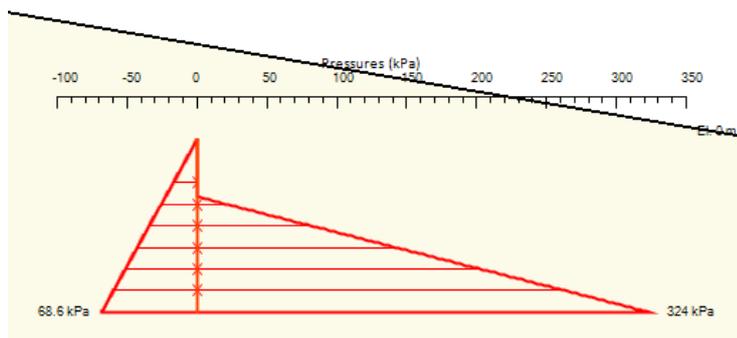


图 4 地表倾斜 18° 时土压力计算结果

### 2.3 考虑地震影响

对于基坑工程而言，由于其设计使用期限较短，多为临时性结构，因此一般情况下不用考虑地震作用对土压力的影响。但是，对于边坡工程而言，尤其是永久性边坡，工程师应该考虑地震作用对于土压力的影响，且一般情况只考虑水平地震作用。DeepEX 中可以方便快捷施加地震荷载，只需在【地震】选项中，勾选考虑地震作用，然后输入相应的加速度值，点击分析计算即可考虑地震作用对于土压力的影响。

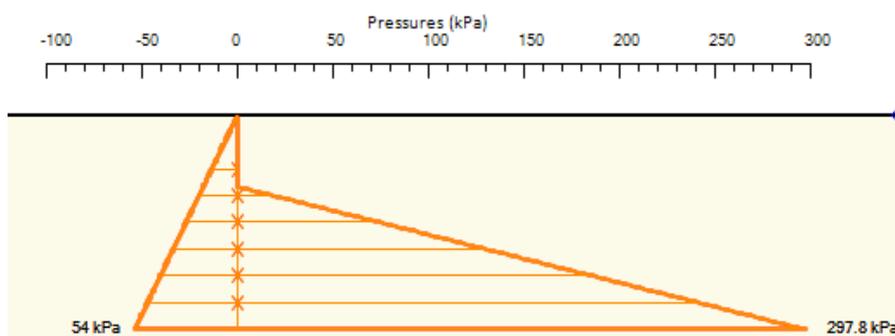


图 5 施加 0.15g 水平地震作用时土压力计算结果

### 2.4 考虑墙面摩擦角影响

实际工程中根据墙背材料类型、墙后排水情况以及墙体是否经过特殊处理（例如墙背贴有防水卷材或者防水覆盖层）等不同条件，工程师需要确定是否考虑墙面摩擦角对土压力计算的影响。当墙面较粗糙时则需要考虑墙面摩擦角的影响。DeepEX 中程序可以很方便的考虑墙面摩擦角的影响，只需在【分析】选项考虑墙面摩擦中输入墙面摩擦角，在分析计算时程序会根据墙面摩擦情况选择相应土压力计算理论进行计算，而不需要用户进行其他操作。

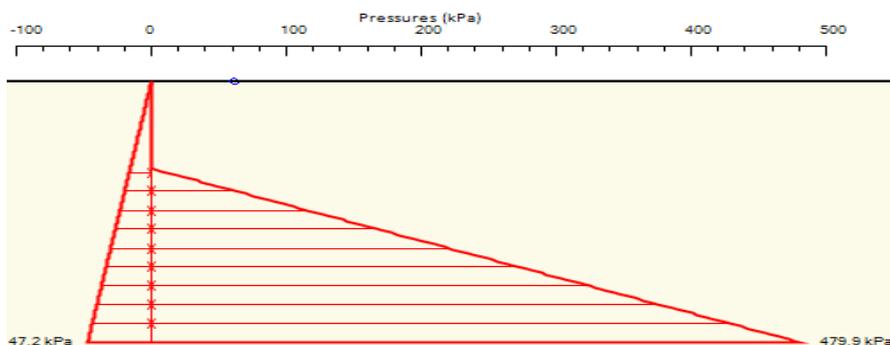


图 6 墙面摩擦角 15° 土压力计算结果

当然在实际设计中，情况复杂多变，上述影响土压力计算的各种因素不一定同时出现，可能只需考虑某一因素的影响或者某几个因素的影响。用户需根据实际情况来进行取舍，然后 DeepEX 中完成相应设置，即可方便快捷进行分析计算。



### 3 灵活多样的土压力调整

除了上述土压力计算方法外，在实际工程中工程师经常面临土压力调整问题。例如当支护结构水平位移被严格限制时，其主动土压力可以调整为静止土压力；当基坑外侧建筑物对差异沉降有严格限制时，可以采用提高的中间土压力系数；面对湿陷性黄土等软弱地层时，也应对被动土压力做折减调整。

而在 DeepEX 中为用户提供了灵活多样的土压力调整方法。首先，主/被动土压力调整方法多样。如主动土压力调整方法有：静止土压力、peck 1969、自定义梯形、两阶矩形和自定义主动土压力等（见图 7）；被动土压力调整方法有：被动土压力除以一个安全系数、静止土压力、用户自定义等（见图 8）。其次，土压力调整方法简单，易于操作。选中某一调整方法后，完成相关设置后即可进行计算。



图 7 主动土压力调整方法



图 8 被动土压力调整方法

下面本文以被动土压力调整中被动土压力除以一个安全系数的方法为例，演示 DeepEx 所提供的土压力调整的操作过程和计算结果。在【分析】选项中选择被动土压力调整方法中的【被动土压力除以一个安全系数】，如图 7 所示，然后在【计算选项】菜单（见图 9），将安全系数设为 1.5，进行计算即可求得被动土压力调整后大小。调整前后计算结果如图 10、11 所示。

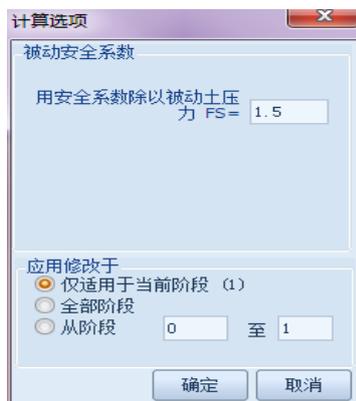


图 9 被动土压力调整选项

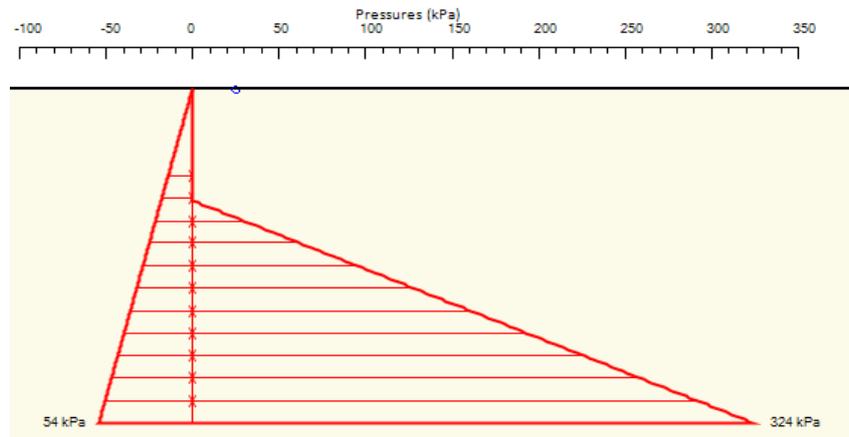


图 10 调整前土压力图

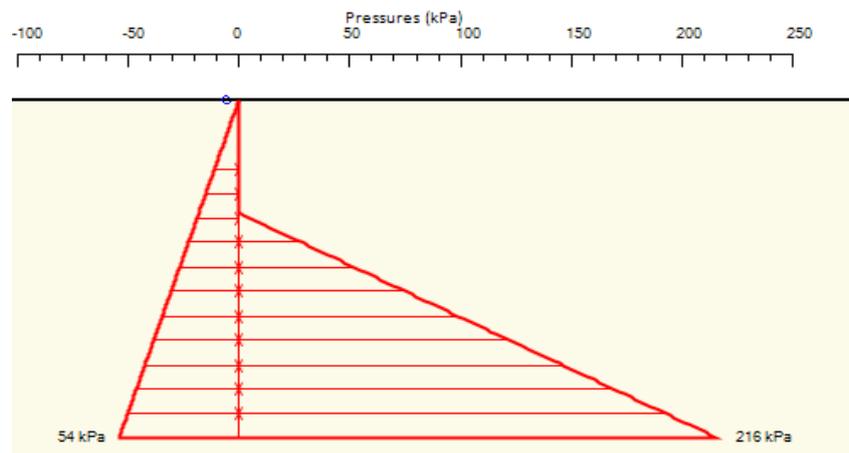


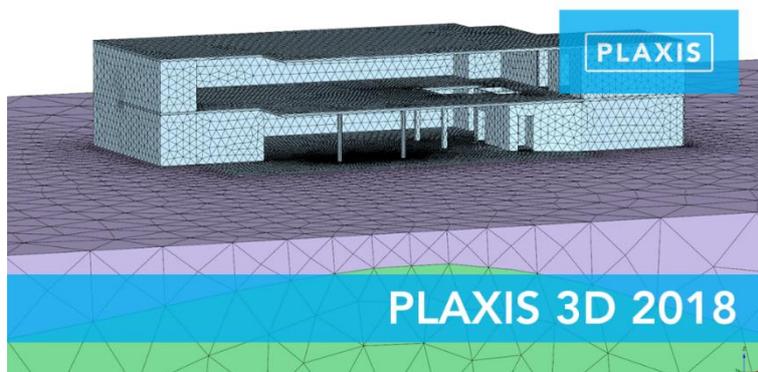
图 11 被动土压力除以 1.5 的安全系数后计算结果

#### 4 小结

以上主要介绍了极限平衡分析时，DeepEX 中土压力的计算方法，以及超载、地形、地震以及墙面摩擦角等对土压力的影响；另外，还介绍了程序提供主被动土压力的调整方法，希望加深用户对 DeepEX 中有关土压力计算的理解。

## PLAXIS 3D 2018 新功能介绍

筑信达 张志国

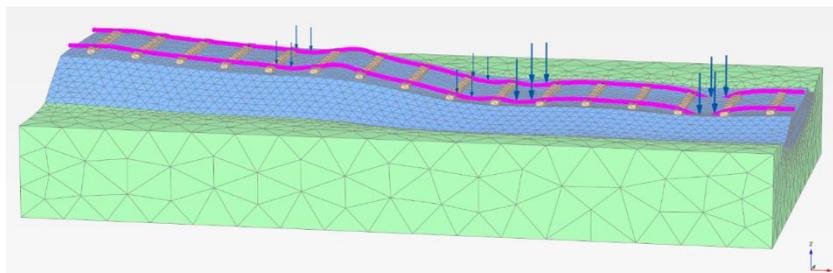


2018年10月份发布的 PLAXIS 3D 2018 为用户提供了岩土工程领域最前沿的诸多新功能。首先，PLAXIS 3D 2018 将混凝土模型（早期的喷射混凝土模型）直接集成于标准的土体材料库，代替早期的用户自定义土体模型（UDSM）。同时，用户还可以应用 UDCAM-S 模型配合循环累积工具，在三维分析中评估循环加载条件下的土体退化属性。除此之外，动力分析模块在移动荷载、加速度缩放以及网格更新等方面也得到了进一步的增强和拓展。

### 1 移动荷载（VIP）

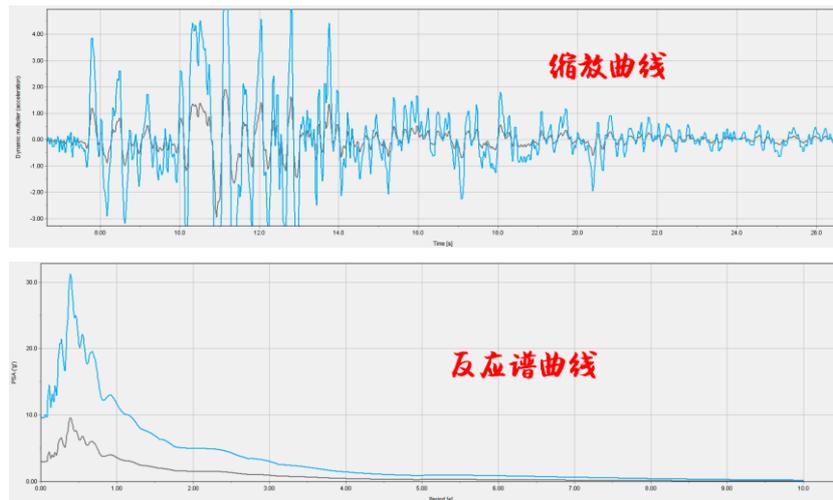
用户可以在【结构】模式中为点荷载或线荷载指定【移动（Movement）】选项，以此模拟汽车、火车或卡车等移动荷载的行驶路径和行驶速度。根据实际需求，用户可选用线性函数、谐波函数或离散化的表格数据描述速度与时间之间的函数关系，即移动函数（Movement Function）。

在后处理程序（Output）中，PLAXIS 3D 2018 可以根据已存分析步中的结果显示加载位置随时间的变化过程，也可以在荷载表格中查看当前激活的移动荷载。



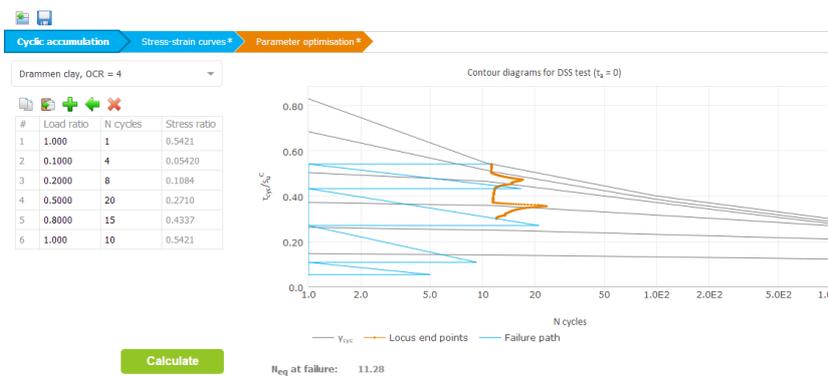
### 2 加速度时程曲线的缩放和转换

对于在【动力乘子→位移乘子】对话框中以表格数据形式输入的加速度时程曲线，用户可对其进行整体缩放或最大乘子缩放。除此之外，用户还可以查看由时域函数转换的频域函数，即：傅里叶谱曲线（FFT）和反应谱曲线。



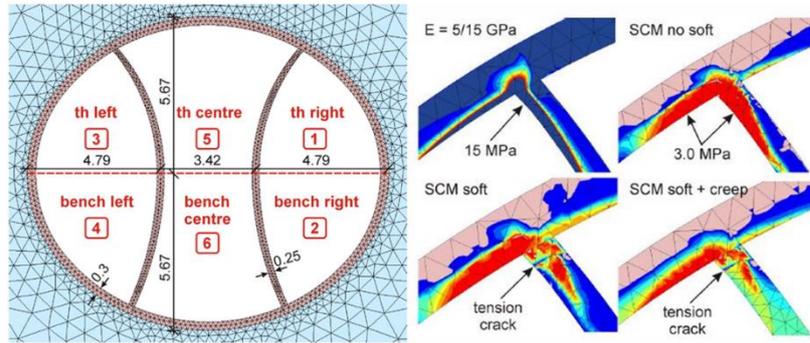
### 3 UDCAM-S 和循环累计及优化工具 (VIP)

基于 UDCAM (UnDrained Cyclic Accumulation Model) 材料模型, PLAXIS 3D 2018 提供简化的 UDCAM-S 模型。借助循环累计及优化工具, 用户可将完整的循环荷载转化为等效的循环次数, 确定 DSS 和三轴条件下的应力-应变曲线。上述工具还可以采用不同的模式, 辅助生成 UDCAM-S 模型的材料属性, 反映循环加载条件下土体的退化性能。



### 4 混凝土模型 (早期的 UDSM 喷射混凝土模型) (VIP)

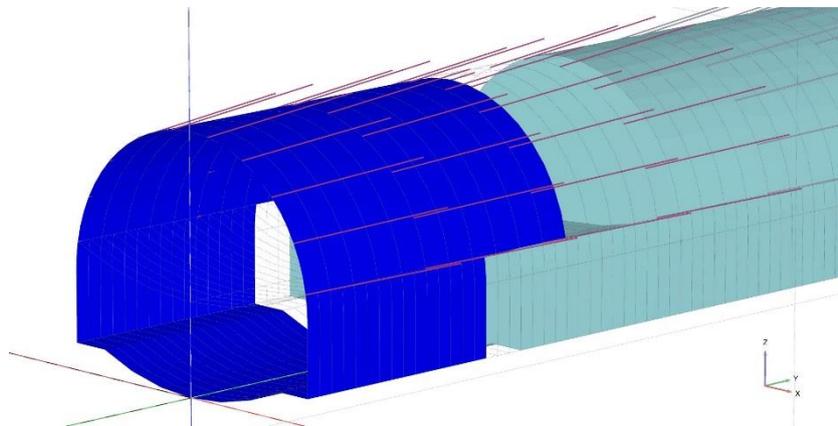
早期的 UDSM 喷射混凝土模型现集成于 PLAXIS 3D 2018 标准材料库并重命名为混凝土 (Concrete) 模型。该模型允许用户考虑时间相关的刚度和强度属性、拉压条件下的应变硬化或应变软化以及徐变和收缩效应, 且多数的输入参数均可通过标准的单轴拉压试验来获取。除喷射混凝土外, 该模型也可用于模拟土体加固, 如喷射注浆柱。



### 5 隧道设计器的新功能 (VIP)

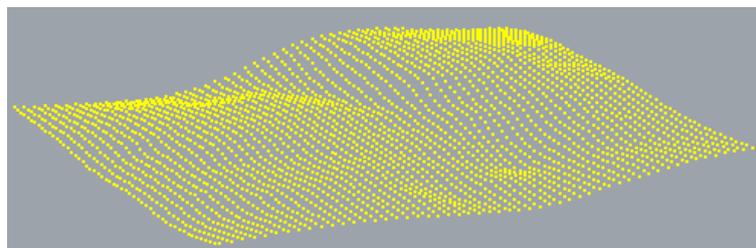
利用新的隧道分离工具，用户可在主隧道中分离某一部分作为单独隧道，同时在几何上保持与原始隧道的一致性。每个分离的隧道都可以定义独立的切片、属性以及施工工序，故用户在阶段施工定义中可以更加全面灵活地控制隧道施工进度。

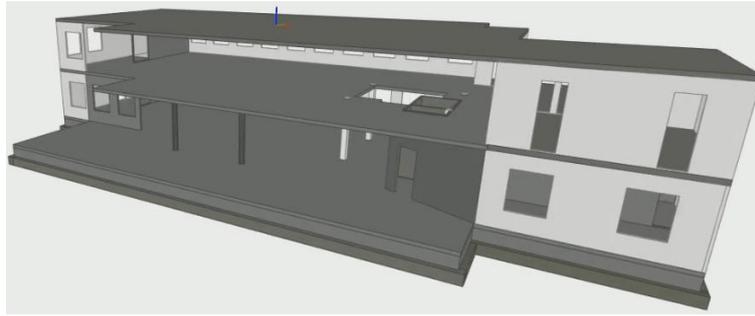
用户还可以选用附加信息和输入参数创建线段 (Segment) 和子分段 (Subsections)，以便模拟更加复杂的隧道断面。除此之外，隧道设计器提供岩石锚杆和管棚 (Umbrella Arch) 两种隧道加固方式，后者可指定倾斜角度，如下图所示。



### 6 点云数据和 IFC 文件的导入 (VIP)

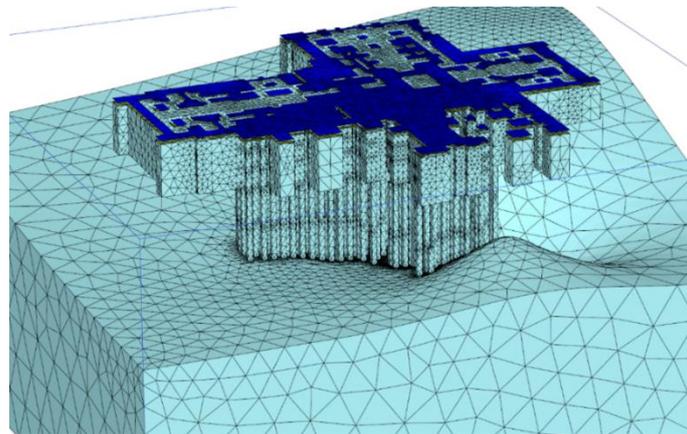
用户可通过 GUI 导入点云 (Point Clouds) 数据并将其转换为 NURBS 曲面，利用网格密度选项还可以改变 NURBS 曲面与点云之间的拟合程度。除此之外，点云数据也可以在【渗流条件】模块中导入并生成水位线，用户只需点击【导入水位线】按钮即可。PLAXIS 3D 2018 还支持 IFC 文件的导入和过滤。其中，过滤可确保只导入与当前分析相关的对象。





### 7 复杂模型的显示性能

前处理程序 (Input) 提高了复杂模型在旋转和选择时的响应速度, 尤其适用于处理导入的几何模型。同时, 不同模式和施工阶段间的切换速度也得以改善。除此之外, PLAXIS 3D 2018 自动的网格细化功能得到进一步增强, 适用于处理更加复杂的几何形状。后处理程序 (Output) 在生成曲线方面得到了显著的性能提高, 同时加载时间和阶段切换的响应速度也有所增强。



### 8 扩展的表格命令和 GUI 选项

扩展的表格命令允许用户查看或对比多个阶段或一组对象的激活状态、材料属性或荷载数值。除此之外, 用户还可以通过 GUI 选择并右击对象显示相关的表格数据。该功能帮助用户以更便捷的方式检查模型的一致性和潜在的输入错误。

**Selection**

- Tabulate
- Activate
- Deactivate

---

**Soil**

- Group
- Regenerate
- Preview phase
- Calculate

_tabulate (Soil_1_1 Soil_2_2 Soil_3_1) Phase_4			
Object	Active	Material	ApplyStrengthReduction
Soil_1_1	True	Toplayer	True
Soil_2_2	True	Claysiltstone	True
Soil_3_1	True	ClayLimestone	True

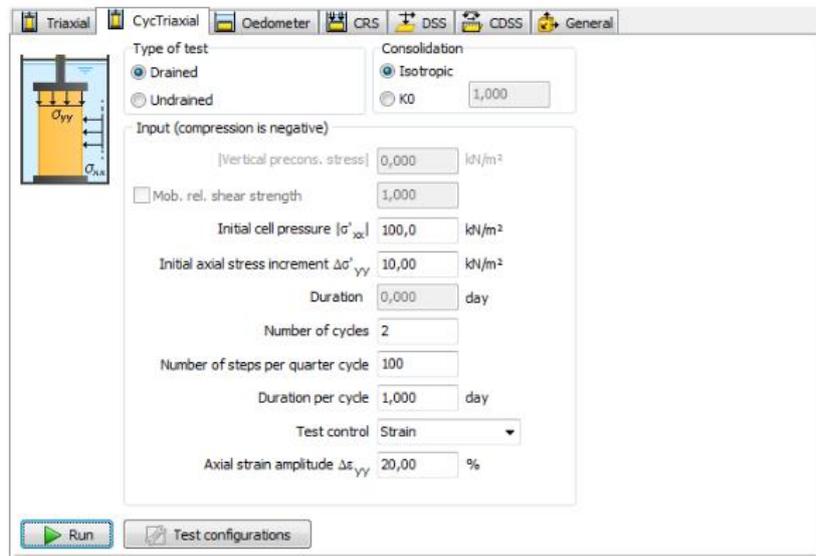
  

_tabulate (Plate_7_1) Phase_4			
Object	Active	Material	ApplyStrengthReduction
InitialPhase	False	Lining	False
Phase_1	False	Lining	False
Phase_2	False	Lining	False
Phase_3	False	Lining	False
Phase_4	True	Lining	False

### 9 三轴循环试验 (VIP)

新的三轴循环土工试验可用于模拟循环加载条件下土体的三轴应力状态, 帮助用户更加便捷地确定土体的动力属性。借助三轴循环试验, 用户可以准确评估土体的剪切模量  $G$  和阻尼比, 也可以确定砂土在不

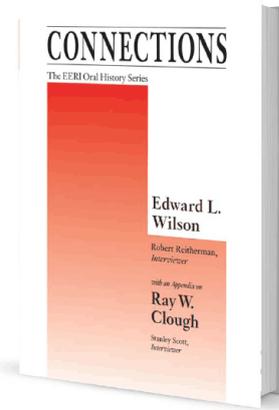
排水条件下发生液化的可能性。



## 10 其它新特性或增强功能

1. 动力分析中的网格更新适用于处理液化问题
2. 后处理中增强的曲线功能便于绘制荷载-位移曲线和荷载-时间曲线
3. 新的【应用强度折减】选项可以帮助用户在安全分析中考虑结构单元或排除部分土体的强度折减
4. 参数优化支持用户自定义的土体模型（UDSM）
5. 后处理程序（Output）可显示梁或嵌入梁的扭矩结果
6. 进一步提高【实体桩的结构内力】工具的稳健性
7. 后处理程序（Output）可对荷载箭头、水荷载等单独设置缩放选项

**【编者按】**本期为 Edward L. Wilson 教授访谈回忆录（7）。这是附录部分，是 Wilson 的导师 Ray W. Clough 教授生前未完成的口述记录，Wilson 特别要求 EERI 将此部分纳入本书，以纪念这位开创新元法和结构抗震的先驱。《Connections: The EERI 口述历史系列》是美国地震工程研究所（Earthquake Engineering Research Institute）出版的对地震工程界重要人物现场采访的口述历史系列丛书。Wilson 教授在结构计算分析领域取得了大量令人瞩目的成就与贡献，至今被结构工程界广泛采用，例如“非协调单元”、“Wilson-θ 法”、“CQC 法”、“FNA 法”以及对多自由度体系“等位移原理”的否定等等；Wilson 教授获得了无数奖项和荣誉，包括 1985 年当选为美国国家工程院院士；Wilson 教授是 SAP 和 ETABS 系列程序的原创开发者，现在依然担任 CSI 公司的高级技术顾问。本书通过访谈的形式回顾 Wilson 教授的成长经历及成就斐然的职业生涯。在本书的附录部分还公开了 Wilson 教授的导师，美国著名结构工程、地震工程学家 Ray W. Clough 的访谈录。在大师们平实、生动的口述中，我们仿佛穿越回上世纪初期，亲历行业先驱们的成长、分享他们的人生体验、目睹一个又一个极具变革意义的重要历史时刻，见证地震工程学、结构工程学的发展之路。希冀钟情于 CSI 结构软件的广大工程师朋友们既能从中获得结构工程专业知识，更能从大师们的学术生涯和人生抉择中汲取精神力量！



## 附录

# Ray W. Clough

[本附录包含了 Stanley Scott 对 Ray Clough 口述历史的非完整版本，记录了他们于 1993 年 10 月至 1994 年 7 月间的谈话。]

## 序

1994 年 Ray Clough 和 Stan Scott 停止工作后，他的口述历史没有全部完成。鉴于此，我相信有必要为这位伟大的美国工程师和科学家的一生及其家庭增加一些评论，以便读者能够有更完整的直观印象。他是伯克利仅有几个能够同时被遴选为美国工程院院士和美国科学院院士的教授之一，而且，他于 1994 年荣获了美国科学奖章（National Medal of Science）。

1953 年 1 月，我二十一岁的时候从 Sacramento 社区学院转到了加大伯克利分校，Ray Clough 是我大三和大四的导师；我只上过他的一门课，就是飞行器结构，这是一门非常令人愉快的课程。Ray 一贯都是准备充分，而且相当平和；他涉及到了大量的素材，布置的作业

都很有意思，适合今后的工作。桥梁设计采用的方程同样也能用于飞机设计，我对此着迷不已。上了 Ray 的课的一个结果就是，我将专业改为了结构工程，并决定进研究生院，学习了更多的有关结构工程和结构力学的知识，这改变了我的职业生涯。

作为一名本科生，我与 Ray 的另一个重要机缘是在年度的学生-教工美式橄榄球比赛场上。在争球线上我与 Ray 相对而站，他摘下了眼镜，脸上露出了非常坚定的神情。争球后，我就发现自己倒在了地上，而 Ray 正奔向四分位；在接下来的比赛中，我决定回防，我的奔跑能力应该可以避免与这个超人的化身进行身体接触。几年后，我了解到 Ray 具有登山、滑雪、自行车及其他多种运动技能。

在军队待了两年后，1957 年我回到伯克利开始我的硕士学位学习，Ray 建议的课题就是平面应力结构的有限元分析。接下来的六年里，我与 Ray 一起工作，获得了我的硕士和工程博士学位，这些都在我的口述历史中介绍了。

那些年在伯克利跟 Ray 读研的过程中，是我一生最富有成效的日子，这就是我参与到了有限元法的诞生。而且，Ray 和我一起开发了高层建筑和核反应堆的线性和非线性地震分析的新方法。当 EERI 找到我想要做我的口述历史时，我接受了邀请，条件就是 Ray 的非完整的口述历史要在同一卷上发表。我非常高兴 EERI 同意这样做。

对有限元的原创性工作，Clough 已如此名声显赫之后，他回归地震工程的一个原因是，大学想要他发展土木系在地震工程的实力；他从未忘记过自己受聘的这部分薪水：他是受聘来建立伯克利在这个领域的实力的。一旦地震工程研究中心和振动台建立好了，他就从分析工作转到实验工作。

他与妻子 Shirley 是在 1942 年结婚的，最近（2015 年），他们过了第七十三个结婚纪念日。Clough 参过军，他与妻子退休后，现在住在俄勒冈州。他是 1987 年 7 月从教职上退休下来的。

读过 Ray 非完整的手稿以及我自己的手稿后，我得出了这样的结论：Ray 作为丈夫和父亲的角色，并没有在 1990 年代的访谈中涉及。大约有十年时间，从 1966 到 1976 年，我们与 Clough 一家住在同一条街上，El Cerrito 的 Leneve Place。在那期间，我妻子 Diane 和他的妻子 Shirley 成为了一生的朋友；我也成为了 Ray 的儿子 Douglas（生于 1947 年，当时 Ray 是 MIT 的研究生）以及女儿 Allison（生于 1951 年）和 Meredith（生于 1953 年）的朋友。Doug 在伯克利获得了土木工程的博士学位。我联系 Doug 请他描述一下他对父亲以及他们

一家外出旅行的早年记忆。Doug 用一份精彩的文件来回复我，全部发布在这里显得文件太长。因此，我就从 Doug 的文件中引用或归纳了几个主题。

“Ray 的职业生涯与家庭生活是不能完全分开的。母亲在室内装潢设计的天赋以及她的厨艺，让整个家庭常年都是受欢迎的场所。亲切的男主人和好客的女主人总能让人们感受到朴实的快乐。我们这些孩子们都是在自己家里与父亲的研究生和同事及他们的家人的快乐喧哗中长大的，一起庆祝佳节及其他的特别聚会。

他们款待过的学术界和工程界的朋友们都是具有国际声誉的结构工程界名人。我们孩提时期形成的友谊至今依然珍贵。

当然，Ray 的学术休假是全家相伴的，第一次 1956-1957 年去的是 Trondheim 的挪威技术学院 NTH；然后是 1963-1964 年去英国剑桥的丘吉尔学院。对我们所有人来说，这些都是快乐的时光，无论视觉还是听觉都充满了新鲜玩意儿，让孩子们沐浴在外国文化、语言和学习环境中。那几年中，远离了他的日常公事，父亲有更多的时间与我们在一起，我们都很高兴。

对于姐姐和我说，Trondheim 是一个绝妙的游乐场，具有无可匹敌的风景，友好而精力充沛的玩伴，我们从没经历过类似的季节变换。对于父亲来说，除了上述所有之外，还得加上从事富有成效的研究工作、铺设了工程界的基础，以及粘结了一生的友谊。对于母亲来说，我必须明白，我们在挪威享受到的奇妙经历是以她在这个不熟悉和充满挑战的环境里为我们的衣食而额外的辛苦劳作为代价的——虽然我知道她会大声说：为了我们一家及与朋友们的持久友谊，付出是完全值得的！

母亲的亲戚和我们一起离开挪威。我们把从家里带到挪威的行李打包，加上我们逗留期间获得的纪念品，运了好几大箱行李到港口去装船。按计划，父亲把我们的个人行李堆在行李架上，盖上他的防水罩，然后带着我们所有人——三个孩子和四个大人——乘小汽车进行为期三个月的欧洲神奇旅行：探索壮观的挪威海湾、在阿尔卑斯山徒步旅行、去里维埃拉海滩游泳、参观巴黎、伦敦和阿姆斯特丹，然后连同我们的汽车一起乘远洋客轮，穿过大西洋抵达纽约。母亲的亲戚自己回到了西雅图，而父亲依旧驾驶这部我们达到 Trondheim 时购买的小旅行车回到家。

回到加州后，我们一家继续利用暑假和周末去北加州、俄勒冈州和华盛顿州等地去旅行。露营、滑雪和徒步是我们的生活的重要部分。在 1969 年夏天，一家人住进了我们在 Ebbetts 高速路附近的 Pinebrook 搭建的有四个卧室的帐篷房子。Ray 自己设计，在家人和我外公的帮助下在山里面建成了这个奇妙的家。在 1991 年我父母搬到俄勒冈州的太阳河疗养院之前，这座山间小屋经常被 Clough 一家及朋友所使用。2008 年，他们搬到距俄勒冈的 Bend 二十英里的一座有两个大卧室的公寓里。

我相信在华盛顿大学读本科时，他作为雷鸟俱乐部的一员给人留下了深刻印象，这是非常值得他骄傲的地方，如同那些山脉、高峰、冰川、高地代表了他的生活。年轻的时候他就取得了非凡的成绩，他将视线投向更高的目标，攀登更高的山峰，与自己的学生和同事一同分享快乐的友谊，比如你，Ed，就加入了他的这个追求。”

上周，2016年3月15日，我与 Doug 和 Linda 夫妇一起共进了一顿非常令人愉快的晚餐，我们谈论了许多与 Ray 夫妇经历的美好时光。我问了 Doug 一个问题，在他年轻时，Ray 是否故意让他赢得比赛；他这样回答道：“没有，他每场比赛都赢。”我又问 Shirley 是否对艰苦的外出徒步或滑雪有过抱怨，他回答说：“没有，她是一个积极参与者。”

Edward L. Wilson

2016年3月31日

又及：我从 Ray 的儿子 Doug 那里获悉，Ray 的夫人 Shirley 于 2016 年 4 月 17 离世，而 Ray 刚刚于 2016 年 10 月 8 日在俄勒冈州本德市的山地单身村去世。

Edward L. Wilson  
2016年10月11

## 第一章 在太平洋西北地区的童年生活

“1937年在德国，即便是像我一样对世界无知的人来说，看到纳粹游行，也觉得‘滑稽’，当时我十七岁。”

**Clough:** 我 1920 年 7 月 23 日生于华盛顿州的西雅图，有一个哥哥和一个姐姐，还有一个妹妹。父亲是美国罐头协会的食品化学家，负责来自阿拉斯加罐装三文鱼的品质；在协会工作期间，他还在华盛顿大学上研究生，最终获得了食品化学的博士学位。他在业界有很好的声望，薪水不菲，因此我们家在大萧条时期并没受多大影响。

**Scott:** 你父母的姓氏和来源地？

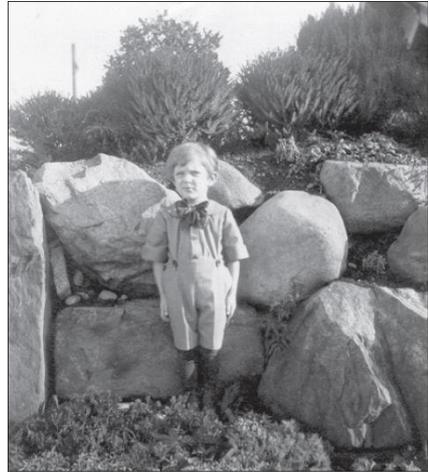
**Clough:** 我父亲的名字是 Ray W. Clough。有段时间，我也跟着用 Ray W. Clough，他去世后，我就加上了 Jr. (小) 的头衔。他来自于佛蒙特州，大学毕业后他就来到西雅图开始在美国罐头协会工作。我母亲的名字是 Mildred Nelson，她来自于北达科他州，有斯塔的纳维亚血统。

## 哥哥的影响、童子军和户外活动

**Clough:** 我想提一下哥哥的影响。Ralph 比我大 4 岁，在某些方面他是我的领路人，我跟随他走相似的道路。

**Scott:** 这种影响是从你很小的时候就开始了吗？

**Clough:** 是的，从一开始就是，他是邻近孩子们活动的带头人，我追随他。比如，他领着我参加了童子军运动，他是最高级别的鹰级童子军 (Eagle Scout)，我却从来没有超过生活童子军 (Life Scout) 的级别。他帮助我培养了对背包徒步、滑雪和所有这些活动的浓厚兴趣，因为他拉着我往前走。



Ray Clough, age 5 in 1925, in front of his family's home in Seattle, Washington.

我们的一个主要不同是，他非常擅长于外语，而我却对此极度痛苦；他对外语的兴趣是他职业中的一个主要特征；1933 年他对远东抱有兴趣，就去澳大利亚参加了国际童子军大会，一路上，他去了广州、中国[译注：原文如此]和远东的其他地方。

大约在 1936 年，他作为华盛顿大学岭南大学分校的交换生在广州呆了一年 (大三)。在华盛顿大学完成他的本科后，他进入了波士顿地区塔夫茨大学的法律与外交学院，然后参加了国务院的外交服务考试。他的整个职业生涯都是在从事外交活动，最初是在中美洲的洪都拉斯，之后都是在远东地区。他在中国呆了很久，经历了中国的抗日战争；他最终被踢出了中国——当共产党赢得了内战之后与所有其他的美国人一起去了台湾。

**Scott:** 那应当是 1949 年？

**Clough:** 是的。在 1947 和 1948 年间，他去了语言学校，然后又去了香港，最终去了台湾。他的语言能力对他的职业非常有帮助，这方面他做得很好。1971 年他五十五岁从外交工作上退休，把家安在了弗吉尼亚的 Arlington；他继续忙碌，写书、讲课等，他最近参与了华盛顿州约翰霍普金斯国际学院的活动，他每年都会在这里开一个学期的课。他似乎很享受这种学术活动。当我在加大到了退休的年龄时，我说“不再干了！”而我哥哥却以极大的热情投入到教学活动中去。

## 1937 年的国际童子军大会

**Clough:** 接下来我跟随我哥哥参加了 1937 年在荷兰举行的童子军大会。因为我父亲在 1933 年就将哥哥送到澳大利亚参加了一次，在接下来的这次大会到来之际，他觉得亏欠我一次类似的旅行。因此我作为西雅图分遣队的一员参加了 1937 年荷兰的大会。

**Scott:** 那时你多大？

**Clough:** 离开西雅图我 16 岁，回来已经 17 岁了。在荷兰参加大会期间，我们还游遍了英

国、比利时、法国和德国。即便是像我一样对世界无知的人来说，看到纳粹游行也觉得是“滑稽”，当时我17岁。

**Scott:** 你知道正在发生什么吗？

**Clough:** 知道，我们能看得见——我们不得不看！我们对军国主义很敏感，希特勒在游行队伍中光彩夺目，他喜欢这种巨幅画面——任何时候他都可以把好些人放入画面，他能放入300人。这给了我极深的印象，我很高兴没有再在德国多待。

**Scott:** 嗯，他把一大群人放入了纽伦堡纳粹党大会中。

**Clough:** 是的，就是这类事情，非常宏大，但，如我所讲，我很高兴离开德国。欧洲旅行的我真正享受的部分是在瑞士的十天左右时间。我们并没有爬特别高的山峰，但我们达到了重要登山地的边缘。比如，到了马特洪峰的大本营，这是登山者用来过夜的地方。我们的向导是童子军的领导，他说他不想再向前走了，到达这么远的地方也是一件趣事。

大约三个月之后我们回到西雅图，我记得童子军的领导对活动进行了评论，说这是一次很好的旅行，因为他怀疑我们都不会再想去欧洲了。但是，我经常去欧洲，我猜想我们中的大多数后来都去过欧洲。

我记得这次欧洲的探险之旅。那时候，还不能就乘飞机到处飞；我们是坐火车穿过美国，在纽约上的船，航行到英国，再渡过英吉利海峡到达欧洲大陆，随后就又坐火车在欧洲旅行。回来的时候，是相反的过程。这样的旅行会花大量的时间。与之相反，1994年10月我要挪威，从旧金山飞到汉堡只是花了十四个小时，之后我们就放慢了节奏，因为我想沿途拜访更多的人。但以旅行方便而论，现在是全球联系在一起了。

不管怎样，国际童子军大会将我带入了那些非常重要的国家。当我从事地震工作后，我就很有兴趣与国外的地震工程团队进行联系，我确信这就是起源；我明白与不同国家的人会面，且试图以任何恰当方式与他们相互联系是多么有趣的事。

## 第二章 登山和雷鸟穿越

*“我们总共外出十到十二天，这期间我们会攀登大约六座尚无人登过的山峰。”*

**Clough:** 前面我提过登山的事，这是参加童子军的结果。比我大四岁的哥哥作为副团长是巡逻队的头儿，我只是跟屁虫而已。无论如何，他和我都从童子军（Boy Scout）转换成了乐行童子军（Rover Scouts），也叫高级童子军项目，我们可以在活动中施加向登山倾斜的影响力。我们叫“乔治温哥华乐行队”，是西雅图几支乐行队之一，我们这支专注于徒步户外活动。

接下来乔治温哥华乐行队又转变成了一个登山俱乐部——雷鸟登山俱乐部，用太平洋西北地区发现的小山鸟来命名。我们就开始进行户外登山探险，逐步地，我们开始有一些小名气；大型登山团体是“西雅图登山者”，那时已经有数百人的会员；我们并不想成为一个拥有数百人的组织，我们只想有二十五到三十人；这样，我们就可以做我们想做的任何事，不

需要得到其他所有人的同意。

我们组织自己的徒步活动，干些看起来还恰当的事情。由于涉及更多技术要求，攀登更困难的山峰更安全，因为要使用绳索和岩钉起到固定作用。我们爬了大量的岩石山峰，用岩钉固定在岩石中，将绳索穿过岩钉的钩环以提供安全保障；虽然这些对攀登没有直接帮助，但确实是关乎安全。原则上讲，如果你有好伙伴在一起，你就不会出现大的意外。我们学会了非常娴熟地掌握登山技术。

有时候是在山岩上攀爬，但更多的时候是在冰雪中。在华盛顿州，我们成功登顶了所有的火山峰——贝克山、冰川峰、瑞尼尔山、圣海伦斯山（曾经是很好的登山之处）、亚当斯山，还远及胡德山，一直到我们感兴趣的地方。我们开始爬其他所有的主要山峰，并学习使用冰镐来开凿踏步。我没有攀登所有的主要山峰，但我两次登上了雷尼尔山，多次登上贝克山、冰川峰、圣海伦斯山——我认为这是我登过的所有主要山峰，尽管雷鸟俱乐部成员多次登过这些山的全部或一部分。有一个问题：谁能在特定时间有空去爬山？我们都是在周末去干这些事的。

我想提及的唯一一次特别的旅行就是令我们雷鸟俱乐部名声大噪的那次——被称为雷鸟穿越——至今还在西北的登山团体中被广为流传。我们四人计划穿越北瀑布的一部分，这是很难进行探险的地方。我们从 Suiattle 山口开始，沿着北部几座山峰穿越至 Cascade 山口，然后走最短的路线（大约二十五英里）折返回来，耗时十到十二天，这期间我们登上了大约六座之前没有人爬过的山峰。我们一个组员有一台福特 A 型车，我们停在 Suiattle 山口，返回时，就坐这辆车离开。

我记得计划是非常周密的，尽量减少我们自己的负重；我们计划是每人每天一磅食物，这并不多，基本上是脱水食品，水一泡就可以了，因此准备好了之后，吃掉的食物不止一磅。我们的目标是每人携带十二磅食物，加上睡袋、帐篷（帐篷没派上用场，但是为紧急情况预备的）、绳索、冰镐及其他一些东西。背包相当重，是主要的负载，但对于我们这些年轻力壮的小伙子来说，并非难事。然而，食物只够最低额度，越走我们感觉越饿，向目的进发的时候，我们谈论得最多的就是当我们返回时可以吃掉所有的食物。

**Scott:** 沿途这么大强度的体力活动，食物却很严苛。

**Clough:** 我们体重掉了不少，没什么大不了的，我们完成任务后都没有了多余的赘肉。

**Scott:** 整个过程听起来就是一次十足的探险。

**Clough:** 这是一次伟大的探险。雷鸟穿越被记录在了“西雅图登山者”的 1965 年的年度公告里，那时“西雅图登山者”每年出版一期介绍他们会员完成的探险活动，实际上此事发生在 1938 年，当然我们没有出版物，只有实际的探险活动。我们把名字留在了这些山峰的征服者名单上，表明了哪些是最先登顶的，哪些不是。随着时间的推移，人们开始认识到在 1930 年代末就有一次相当重要的探险。因此，一位登山者决定将它写下来，并与仍然居住在西雅图的我们的一个小组成员取得了联系，写下了 12 到 15 页的对这次探险的很好描述。

雷鸟穿越在西雅图登山圈中尽人皆知。如果你现在到“西雅图登山者”或“休闲设备合作组”去问雷鸟穿越的事，他们一定知道。十五或者二十年前，我在华盛顿大学做了个有关地震工程的大型学术报告，这个晚间的活动共有三百到四百的听众参加。我的第一个博士生 Billy J. Hartz 在华盛顿大学任教，现在已经是半退休状态，他介绍我是雷鸟穿越的四人之一，大部分听众知道我作为工程师的威望，极少数人能够意识到我也是“著名的登山者”。我很感谢这种介绍并为之骄傲，我至今仍有兴趣，喜欢登高，但不再有什么壮观场面了。

新版发布



**PLAXIS**

Release notes PLAXIS 3D 2018



44

## 峰筑研究院与筑信达签订战略合作协议

2018年11月1日上午，北京峰筑工程技术研究院有限公司（简称峰筑研究院）与北京筑信达工程咨询有限公司签订了战略合作框架协议。本次会议双方就软件销售、技术咨询和软件研发等三方面的合作进行了充分讨论，奠定了双方未来合作的良好基础。



峰筑研究院在工业化、超高层等领域拥有多项专利技术，在国贸三期、天津 117、中国尊等多项工程项目中得以实践应用；筑信达在工程软件研发领域拥有多项自主知识产权，将全球领先的数值分析技术应用于结构、岩土和桥梁各专业。双方将优势互补、强强联合，在复杂工程项目咨询、软件开发等领域开展广泛的合作。

## 2018 新版本新产品技术交流会成都站成功举办

筑信达 2018 新版本新产品综合解决方案技术交流会，继 [9月12日在北京首发](#)，于 10 月 17 日和 10 月 30 日分别在 **武汉** 和 **成都** 成功举办。



# 活动报道

10月30日成都站技术交流会,由**金橡果科技成都有限公司**——筑信达2018西部区域新的合作伙伴,鼎力承办!金橡果总经理刘宇主持会议,筑信达总经理郭大力发表致辞,120余位结构工程师参会,积极了解产品新信息,会议圆满成功!

本次技术交流会向西南区域工程师介绍了ETABS、SAP2000新版本新功能的同时,更注重多产品与工具集联合应用,为广大结构工程师提供更有效的设计与分析工具,为行业技术发展做出应有的贡献!



2018年10月30日 成都



2018年10月17日 武汉

## SAP2000 新钢标及二次开发技术交流会 (12月5日上海)



12月5日,北京筑信达工程咨询有限公司与上海江图信息科技有限公司成功举办了2018上海新钢标及二次开发综合解决方案交流会,50余名工程师前来参会,我们共聚一堂,分享交流未来工程的解决应用。

会议从SAP2000/ETABS新钢标中的应用展开,分享如何将新钢标与我们的软件产品及二次开发插件相结合,并应用在日常工程项目中。新钢标作为当前炙手可热的话题,引起了在场工程师们的热烈讨论,逐步将会议的气氛带入高潮。

本次交流会同时与工程师介绍了复杂钢节点设计分析软件IDEA和SAP2000 API二次开发的成果开敞式钢结构设计软件CiOpenSteel。



中国钢结构设计支持Chinese 2018

- 支持GB50017-2017、GB50011-2010、JGJ99-2015
- 新增直接分析设计法
- 新增二阶P-Δ弹性分析与设计法
- 新增钢材牌号
- 部分钢材强度设计值调整
- 构件验算公式部分调整



# 征稿启事



如果你使用过我们的产品  
如果你喜爱工程分析

或许你正因惑其中  
或许你已成果丰硕

欢迎来这里发声!

这里  
可以提问  
也可以“炫技”

可以严肃  
也可以顽皮

题材不限  
风格不拘

只要与它们相关  
SAP2000、ETABS、SAFE、  
Perform3D、CSiBridge、PLAXIS  
……  
请速速

筑信达《技术通讯》是面向广大土木工程  
师的技术刊物，内容覆盖筑信达全线产  
品（CSI结构/桥梁产品、PLAXIS岩土产品  
、筑信达自主开发产品）的最新动态、技  
术知识。旨在帮助工程师们更好地将软件  
产品应用于工程实践，同时也为工程师们  
切磋数值分析技术、分享工程应用经验提供  
平台!

欢迎广大工程师踊跃投稿!

稿件一经采纳，作者将有机会获赠:

- 技术专著
- 产品单机版免费限时使用权
- 高级培训免费名额

## 投稿请寄

[support@cisec.cn](mailto:support@cisec.cn)

(请注明“技术通讯”投稿)

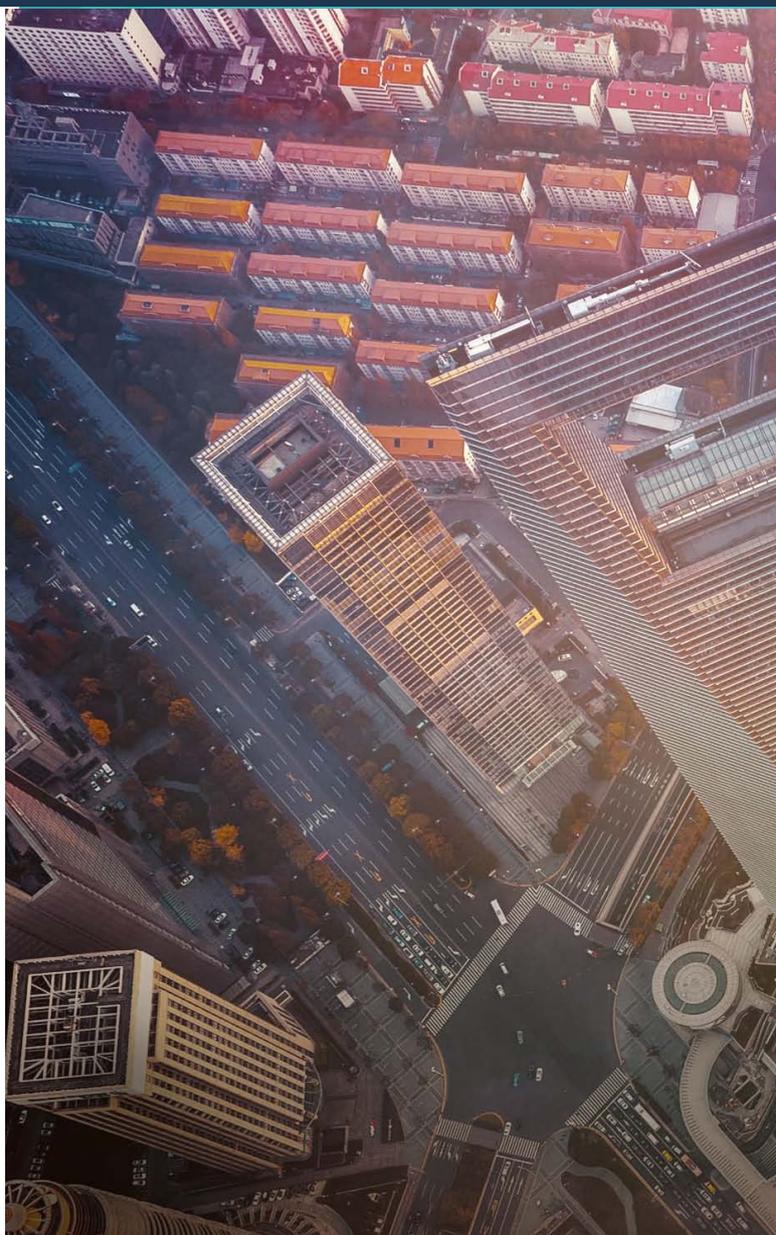
## 期待与你的相识!



你是我的菜



**CSIBRIDGE**  
**SAP2000**  
**ETABS**  
**SAFE**  
**PERFORM3D**  
**CiSDesigner**  
**CiSGTCAD**  
**CiSModelCenter**  
**CiSOpenSteel**



在线支持  
[support.cisec.cn](http://support.cisec.cn)



网络课堂  
[www.cisec.cn](http://www.cisec.cn)



知识库  
[wiki.cisec.cn](http://wiki.cisec.cn)



视频教程  
[i.youku.com/bjcisec](http://i.youku.com/bjcisec)