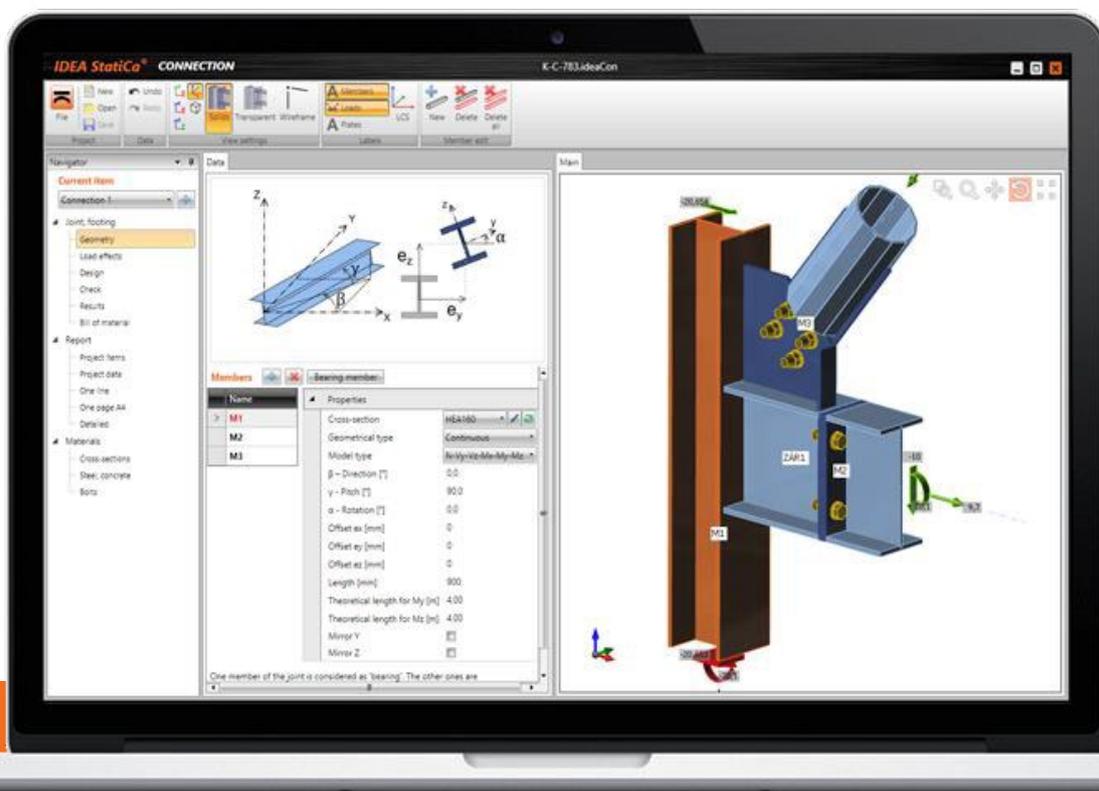


全新打造的钢节点设计工具



按规范快速对钢结构节点进行设计与检查

- 单悬索的基本理论与 SAP2000 应用
- PLAXIS3D 高级建模功能与应用CSiBridge
- 快速模板衍生应用
- Edward L. Wilson 教授访谈回忆录（5）



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、天津、河北、山东、山西、内蒙、辽宁、黑龙江、吉林)

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、江苏、浙江、安徽、江西)

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

(广东、广西、福建、海南)

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

(湖北、湖南、河南、陕西)

武汉百思通科技有限公司

联系人：叶亮

手 机：139 9561 6575

西南区

(四川、重庆、云南、新疆、贵州、甘肃、宁夏)

成都西柯建科技有限公司

联系人：周洪烈

手 机：138 0808 3187

目 录

Content

SAP2000

大跨度楼板的舒适度验算在 SAP2000 中实现 1

单悬索的基本理论与 SAP2000 应用 6

SAP2000 中铰属性验证算例 11

PLAXIS

PLAXIS3D 高级建模功能与应用 29

CSiBRIDGE

CSiBridge 快速模板衍生应用 33

经典连载

Edward L. Wilson 教授访谈回忆录 (5) 36

新版发布 51

活动快讯 52

征稿启事 53



微信 cisec68924600

大跨度楼板的舒适度验算在 SAP2000 中实现

筑信达 吴文博

随着新型材料、新的结构体系以及现代的结构分析方法的应用，楼板正向着大跨、轻质、纤柔的方向发展，但随之而来的是楼板的竖向自振频率越来越低，行人激励下容易造成楼板的大幅振动，引起人们的不适，因此对大跨度楼板进行舒适度分析十分必要。

由于人行激励是一种非常复杂的连续激励，分析方法也较为多样，限于作者水平，现仅对单人行走激励下，定点加载的动力分析进行讨论。

楼板振动舒适度涉及振动源（激励荷载）、传播途径（楼板）和振动接收者（在楼板上活动的人）三个要素，本文也从步行力模型；楼板频率和振动响应的计算；舒适度评价标准三个方面在 SAP2000 中的实现进行探讨。

1. 步行力模型

人在行走时，重心总是不断的上升和下降，因此地面所受的力并不是一直等于人的体重，而是波动的。步频是行走荷载的基频，指单位时间内人走动的步数，是人行走曲线的一个重要参数。实验研究表明，一般人的自然走动频率在 1.5Hz 到 2.5Hz 之间变化。表 1 为不同步速、步幅和步频之间的关系。

表 1 步速、步幅和步频的关系

行人运动状态	速度 (m/s)	步幅 (m)	频率
慢速行走	1.10	0.60	1.70
正常行走	1.50	0.75	2.00
快速行走	2.20	1.00	2.30

由于人在连续行走时具有明显的周期性，所以步行荷载曲线通常简化为傅里叶级数或一系列的三角函数。下式为美国 AISC Steel Design Guide Series 11 (DG11) 中所提供的人行荷载函数：

$$F(t) = P[1 + \sum \alpha_i \cos(2\pi f_{step} t + \phi_i)] \quad (1)$$

式中，P——人的重量，一般取 0.7kN；

α_i ——第 i 阶荷载频率的动力因子；取值见表 2；

f_{step} ——步频；

ϕ_i ——第 i 阶荷载的相位角，取值见表 2。

表 2 步频、动力因子与相位角取值

荷载频率阶数 i	f_{step}	α_i	ϕ_i
1	1.6~2.2	0.5	0
2	3.2~4.4	0.2	$\pi/2$
3	4.8~6.6	0.1	$\pi/2$

并且 α_i 可按下列简化公式近似：

$$\alpha = 0.83e^{-0.35f_1} \quad (2)$$

另外，考虑到行走的作用力位置是变化的，行走的人和受楼板振动干扰的人不会同时都出现在楼板振动模态的最大位移点上，可以考虑折减系数 R，对一般的楼板结构，该系数可取为 0.5，人行天桥可取为 0.7。

通常取前三阶荷载即可，以普通楼板为例，将 P=0.7kN、R=0.5 和 (2) 式带入 (1) 中，并仅保留动力响应部分后可得：

$$F(t) = 0.29[e^{-0.35f} \cos(2\pi f t) + e^{-0.70f} \cos(4\pi f t + \pi/2) + e^{-1.05f} \cos(6\pi f t + \pi/2)] \quad (3)$$

现有研究发现，当人行荷载频率与楼板竖向频率相同或整数倍时，楼板振动能量最大，所以取步频 $f=f_1/n$ ，其中 f_1 为楼板竖向自振频率，并且 $1.6\text{Hz} \leq f \leq 3.2\text{Hz}$ ，n 为整数。例如，当楼板竖向自振频率为 4.2Hz，则可取步频 f 为 2.1Hz。用户可以通过 excel 生成相应荷载函数，并将其以文本文件的格式导入到 SAP2000 中，如图 1。



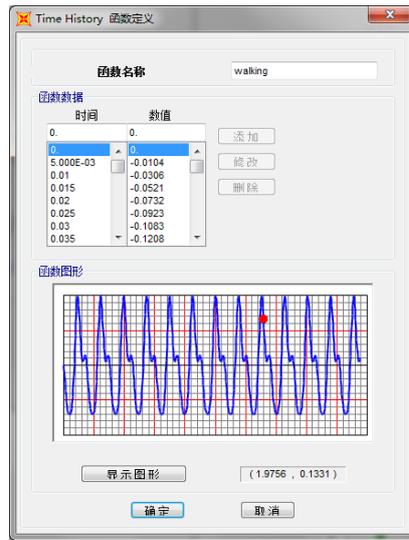


图 1 人行荷载函数

2. 楼板频率和振动响应计算

目前中国规范对舒适度验算采取了频率和楼板竖向振动加速度双重控制。而楼板竖向振动加速度除规范规定的简化计算方法，对于复杂楼板还需要补充相应的动力分析，本文主要介绍动力分析方法在 SAP2000 中的实现。

楼板频率计算

- a) **楼板建模。**为了获取到楼板的竖向自振频率，需要使用壳单元模拟楼板，并且对楼板进行一定尺度的剖分或分割。其中 CSI 建议，每个开间至少进行 5X5 的剖分或分割。

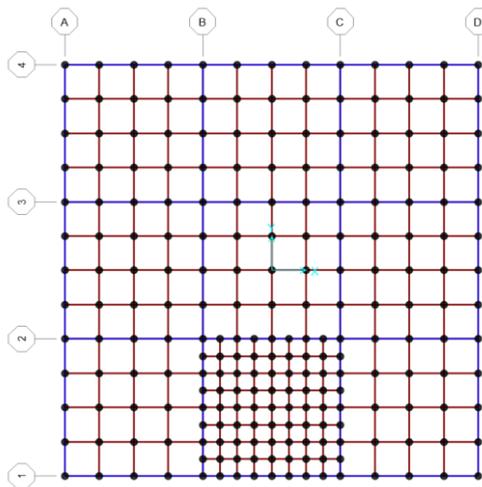


图 2 对目标楼板进行细分

- b) **质量源定义。**对于单人行走，需要考虑恒荷载和有效均布荷载。一般来讲，楼板的恒荷载包括楼板自重、面层、隔墙、吊挂和装修等重量。有效均布荷载指楼板上随机摆放的家具、桌椅等的均布荷载。就手术室来说，主要考虑设备、仪器等的重量，可取 0.5kN/m^2 ；就办公楼来说，主要考虑桌椅、文件柜、档案柜的重量，一般取 0.5kN/m^2 ；就居民楼来说，主要考虑家具等重量，通常取 0.3kN/m^2 ；而对于商场、教堂等大空间建筑来说，有效均布活荷载的数值较小，可忽略不计。



图3 质量源定义（注：质量源中活荷载的考虑应针对实际情况）

- c) **模态工况定义。** 模态工况建议使用特征值向量法，因为特征值向量法得到的自振频率反应的是结构的固有属性，是唯一且确定的，而 ritz 向量法得到的自振周期与荷载分布相关，不一定得到我们关心的楼板自振频率。



图4 模态工况定义

- d) **使用稳态分析获取结构自振频率。** 由于局部的竖向振动不易获取到，通常需要大量的模态数量才可以捕捉到所需的竖向振动模态，并且，即便捕捉到竖向振动模态，也很难判断**目标楼板**是否此模态具有足够的质量参与系数，因此使用稳态分析间接获取结构竖向自振频率是更加有效的方法。稳态分析是频域分析的一种，以频率为自变量，研究结构响应在频率上的分布情况。其中稳态函数和稳态工况定义可参考图5与图6。

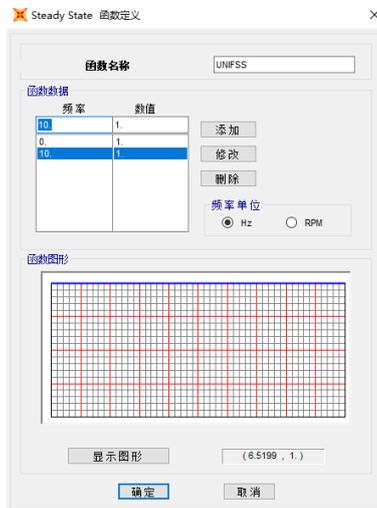


图5 稳态函数定义



图6 稳态工况定义



其中，最高频率取至 10Hz 足矣，若楼板基频高于 10Hz 楼板舒适度问题亦不存在；滞回阻尼可取刚度系数为阻尼比的 2 倍，以结构阻尼比为 0.03 为例，滞回阻尼取值可参考图 7。



图 7 滞回阻尼取值

一般情况下，当荷载频率与楼板自振频率相同时，产生共振，楼板振动幅值达到最大，所以稳态分析中，响应最值对应的频率即为结构的自振频率，如图 8，图 9 所示。（关于稳态分析的更多介绍请参考筑信达官网 SAP2000 案例教程——框架式汽轮机基础或相关网络课堂）



图 8 查看稳态分析下响应幅值

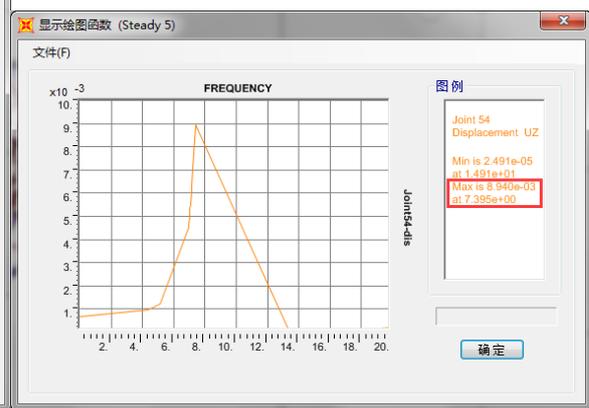


图 9 稳态分析确定自振频率

楼板振动响应计算

- 楼板刚度调整。** 由于动力荷载作用下混凝土的弹性模量要大于静力荷载作用时的弹性模量，因此可以对混凝土楼板的弹性模量放大 1.2 倍，其中美标中采用了 1.35 的放大系数。
- 不利振动点的选取。** 不利控制点通常选择在楼板或次梁的跨中位置处，或者悬挑梁端部位置处，这些位置通常是挠度较大值处。当楼板比较复杂，存在多个可能的不利控制点时，可以通过稳态分析得到各不利控制点的位移幅值，再根据频率分布情况和位移值大小，选取 2~3 个最不利控制点进行时程分析。
- 时程工况定义。** 时程工况可以选择线性模态时程分析或者线性直接积分时程分析，通常来讲线性模态时程分析对阻尼的处理效果更加方便有效一些，但是要求竖向质量参与系数达到 90% 以上；线性直接积分时程分析对模态数量没有要求，但是瑞利阻尼的取值需要一些经验。另外分析步长不宜大于所关心频率的 1/10，分析总时长不宜小于 5 倍的竖向基本周期。

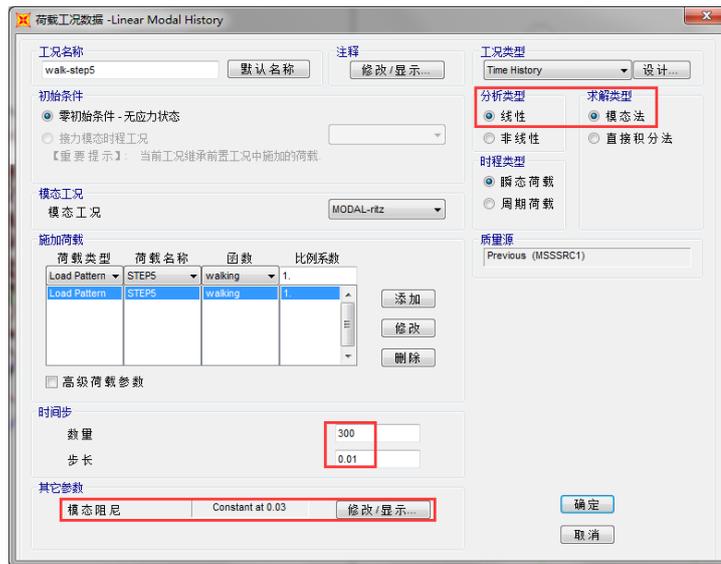


图 10 线性模态时程分析工况定义

- d) **阻尼取值。** 楼板竖向加速度对阻尼非常敏感，因此合理的阻尼取值非常必要。楼板体系的阻尼可按《高层建筑混凝土设计规程》中附录 A 中表 A.0.2 取值。楼板体系的阻尼可以分为两个部分，一部分为材料的阻尼，另一部分为非结构构件的阻尼。并且非结构构件的阻尼占楼板结构阻尼的大部分，因此应根据楼板材料和功能对阻尼比进行合理取值，避免取值过大。

3. 舒适度评价标准

人对楼板振动的感觉与振动的种类、周围的环境和人的敏感度都有关系，并且相同的振动对于不同活动状态的人反应是不同的。我国对舒适度的评价标准除了对频率的控制，楼板竖向振动加速度限值应满足《高层建筑混凝土设计规程》第 3.7.7 条的要求。对于一些规范中未能涵盖的结构，可参考美国 AISC Steel Design Guide Series 11 (DG11) 规范的要求。

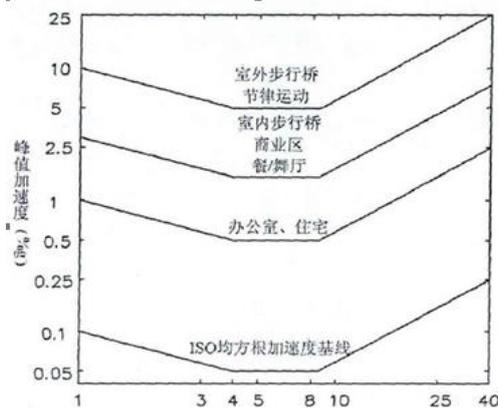


图 11 AISC 标准曲线

参考案例与视频:

SAP2000 案例教程——框架式汽轮机基础: <http://www.cisec.cn/Support/CaseCourse.aspxCaseCourse.aspx>

筑信达网络课堂——稳态动力学分析: <http://www.cisec.cn/Support/OnlineClass.aspx>

筑信达网络课堂——楼板舒适度分析: <http://www.cisec.cn/Support/OnlineClass.aspx>

参考文献:

黄健, 吕佐超著, 楼板体系振动舒适度设计[M], 北京: 科学出版社, 2012.

单悬索的基本理论与 SAP2000 应用

筑信达 张志国

索与常规的梁、柱等杆件的主要区别在于其几何形状的可变性，即：索的几何形状随荷载的不同而变化且变形较大，两者之间存在显著的非线性关系。因此，关于索的结构分析应按照变形后的几何形状和尺寸建立平衡方程、计算结构内力以及确定几何形状。除此之外，索作为柔性构件在荷载作用下只产生轴向拉力，不产生弯矩、扭矩、剪力和轴向压力。从这个角度来讲，索的受力更加合理，在充分利用高强度钢材的前提下大大减轻结构自重，故多用于悬索桥、斜拉桥以及悬索屋盖等大跨度的空间结构。

1 分布荷载作用下的单悬索

单悬索在竖向分布荷载作用下的几何形状（也称“线形”）与水平张力之间的平衡微分方程，如下所示。该方程用于描述某一特定状态下 q 、 y 和 F_H 三者之间的数学关系。与常规的梁、柱等杆件所不同的是，在外荷载 q 已知的情况下，上述方程无法确定唯一的悬索线形 y 和水平张力 F_H 。

$$F_H \frac{d^2 y}{dx^2} + q(x) = 0 \quad (1)$$

式中， F_H 为悬索张力的水平分量（即水平张力）； $q(x)$ 为作用于悬索的竖向分布荷载； $y(x)$ 为悬索线形的函数表达式。

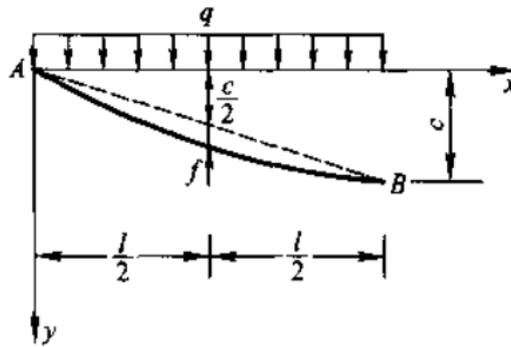


图 1 沿悬索跨度分布的均布荷载

如图 1 所示，对于沿悬索跨度分布的均布荷载 q = 常量，式 (1) 通过两次积分并考虑 A、B 两点的边界条件即可得到悬索线形的函数表达式，如下所示。可以看出，悬索线形与水平张力 F_H 互为结果，即悬索线形为抛物线族。

$$y = \frac{q}{2F_H} x(l-x) + \frac{c}{l} x \quad (2)$$

悬索跨中垂度 f 与水平张力 F_H 之间的关系，如下所示：

$$F_H = \frac{ql^2}{8f} \quad (3)$$

悬索中各点张力 F_T 与悬索线形之间的关系，如下所示：

$$F_T = F_H \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (4)$$

悬索长度 s 与悬索线形之间的关系，如下所示：

$$s = \int_A^B ds = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx \approx l \left(1 + \frac{c^2}{2l^2} + \frac{8f^2}{3l^2} \right) \quad (5)$$

可以看出，在水平张力 F_H 、跨中垂度 f 、悬索张力 F_T 或悬索长度 s 任一参数已知的情况下，根据式 (2) ~ (5) 即可确定唯一的悬索线形（抛物线）。

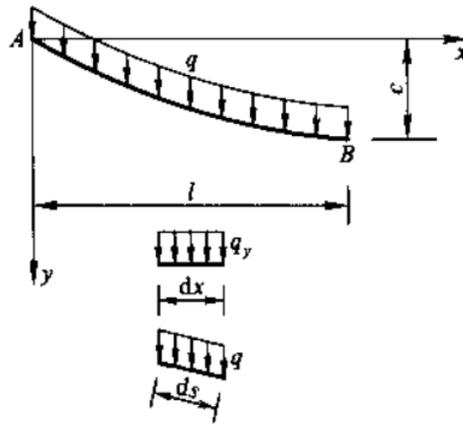


图 2 沿悬索长度分布的均布荷载

如图 2 所示，对于沿悬索长度分布的均布荷载 q =常量，式 (1) 通过两次积分并考虑 A、B 两点的边界条件即可得到悬索线形的函数表达式，如下所示。同样，悬索线形与水平张力 F_H 互为结果，此时的悬索线形为悬链线族。

$$y = \frac{F_H}{q} \left[ch\alpha - ch\left(\frac{2\beta}{l}x - \alpha\right) \right] \quad (6)$$

式中， $\alpha = \operatorname{arcsch}\left[\frac{\beta c/l}{sh\beta}\right] + \beta$, $\beta = \frac{ql}{2F_H}$

悬索跨中垂度 f 与水平张力 F_H 之间的关系，如下所示：

$$f = \frac{F_H}{q} [ch\alpha - ch(\beta - \alpha)] - \frac{c}{2} \quad (7)$$

悬索中各点张力 F_T 与悬索线形之间的关系，如下所示：

$$F_T = F_H \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} \quad (8)$$

悬索长度 s 与悬索线形之间的关系，如下所示：

$$s = \int_A^B ds = \int_0^l \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} dx = \frac{2F_H}{q} sh\beta \times ch(\beta - \alpha) \quad (9)$$

同理，在水平张力 F_H 、跨中垂度 f 、悬索张力 F_T 或悬索长度 s 任一参数已知的前提下，根据式 (6) ~ (9) 即可确定唯一的悬索线形（悬链线）。

通常情况下，单悬索设计既可以根据工程要求确定索的垂度，也可以根据应力条件确定索的张力，据此即可计算索的初始状态，在此基础上进一步完成工作状态下的分析和计算。其中，前者为已知线形求索力问题；后者为已知张力找形问题。

2 SAP2000 形状计算器

如图 3 所示，单悬索的形状设计器（Shape Calculator）可辅助用户高效便捷地绘制或编辑索对象。根据用户选择的悬索类型和输入参数，SAP2000 自动计算单悬索的初始状态（即变形前的悬索线形），包括悬索的长度或相对长度、最大垂度以及最低点垂度。默认情况下，变形前的悬索长度等于起点和终点的直线距离（即弦长）。

变形前的悬索长度与弦长的相对大小与悬索的受力状态密切相关。简单来讲，当前者大于后者时，悬索处于松弛状态，垂度较大，不可忽略；当前者小于后者时，悬索处于张紧状态，垂度较小，可忽略。松弛悬索的内力和变形均为零，需要在后续的非线性工况中施加自重或其它横向荷载以确定其初始状态；张紧悬索则存在预应力，在后续工况中将对结构整体的刚度和平衡产生影响。

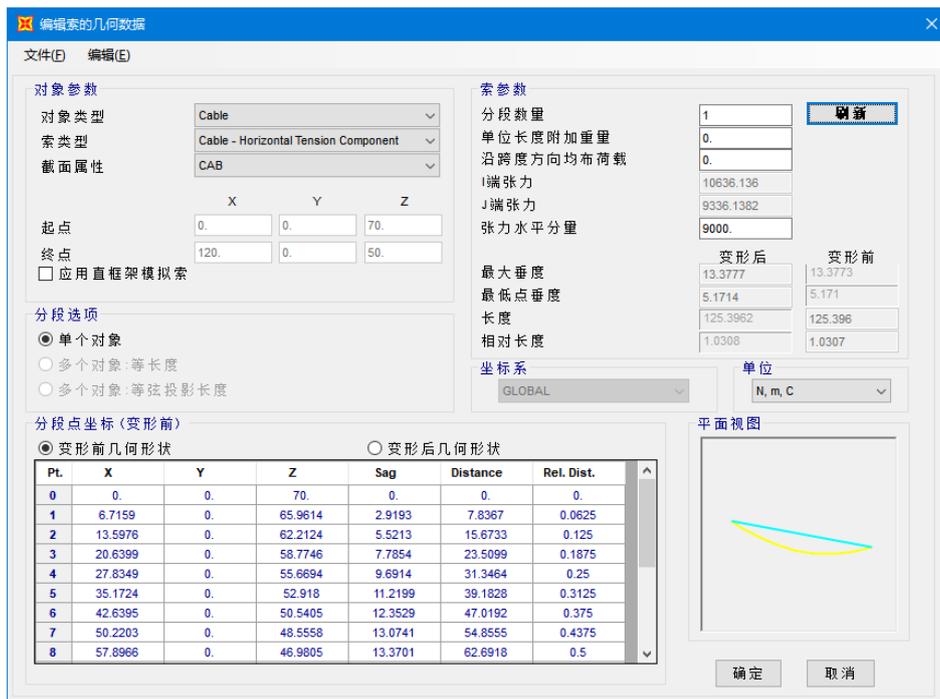


图 3 索对象的形状计算器

如前文所述，在已知竖向分布荷载的前提下，悬索的线形和张力可根据某一参数加以确定，如水平张力、跨中垂度、悬索长度等。在图 3 所示的形状计算器中，用户既可以指定多种形式的竖向分布荷载，也可以选择各种单一的参数来确定悬索线形。具体如下：

(1) 竖向分布荷载

用于计算悬索线形的竖向分布荷载由三部分组成，即：自重荷载、单位长度的附加重量以及沿跨度方向的均布荷载。由于自重荷载始终包含在悬索线形的计算中，故形状计算器未提供对应的选项和输入框。如需忽略自重荷载，建议将材料属性中重量密度修改为零。另外，【单位长度附加重量】即沿索长度的均布荷载，也就是线重量（量纲为 F/L）。

(2) 悬索内力

除常规的水平张力外，起始端（I 端）张力和终止端（J 端）张力也可用于确定悬索线形。从数学角度讲，对起始端或终止端张力的函数进行求导并取零，即可计算其最小值。从物理角度来讲，索长增加则自重增加，张力必然增加；索长减小则悬索张紧，张力也必然增加。故可定性判断，必然存在唯一的悬索线形满足起始端或终止端张力最小的要求。因此，形状计算器可基于 I 端或 J 端张力的最小值计算悬索线形，用户也可以以此张力为下限，避免指定更小的无效张力值。

(3) 几何参数

虽然形状计算器没有提供跨中垂度 f 用于计算悬索线形，但基于最大垂度 U_{MAX} 和最低点垂度 U_{LOW} 同样可以快速便捷地确定悬索线形。最大垂度即悬索与弦长之间最大的竖向间距，最低点垂度即悬索最低点与弦长最低点之间的竖向间距，如图 4 所示。



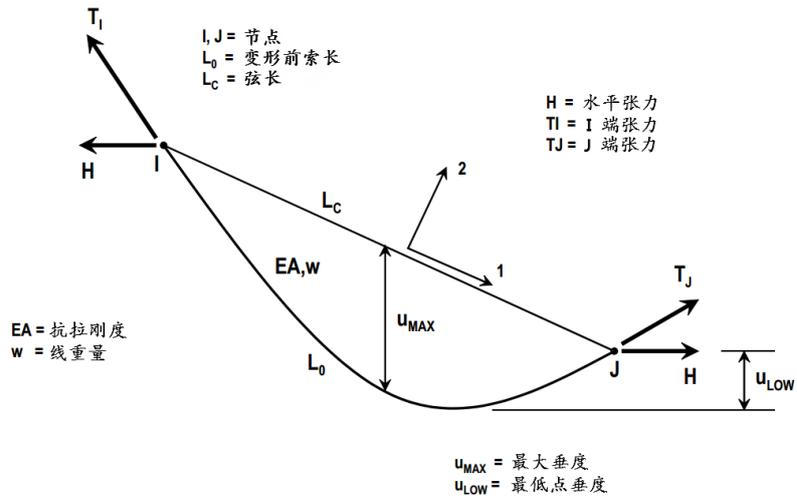


图 4 悬索线形示意图

3 几何非线性分析

SAP2000 中的索单元具有拉伸刚化和位移的几何非线性属性，可用于模拟自重作用下索的悬链线行为。因此，涉及索单元的荷载工况多采用非线性分析，也可以基于非线性工况的终止刚度进行线性分析。由于索单元内置几何非线性属性，故用户非线性工况中无需为此勾选【P-Delta 和大位移效应】选项。但是，如果用户需要考虑除索单元之外其它单元（如框架单元、壳单元等）的几何非线性，建议勾选【P-Delta】或【P-Delta 和大位移效应】选项。

松弛状态下的悬索在未承受荷载的情况下无稳定的唯一线形，故基于零初始条件的线性分析毫无意义，用户应尽量避免。同理，在线性工况前置的非线性工况中，用户必须对松弛的悬索施加自重荷载、温度荷载或其它横向荷载以激发其几何刚度和稳定性。需要注意的是，用户在形状计算器中考虑的悬索自重或其它附加荷载仅用于计算悬索线形，并非在实际的结构分析中所施加的荷载。因此，如果用户需要计算悬索在上述荷载作用下的内力或变形，应在非线性工况中指定相应的荷载模式。

最后，为了改善非线性分析的收敛性，建议用户在荷载工况的非线性参数中增加 NR 迭代的最大次数，如 25 或以上。对于单个索对象，用户无需划分过多的单元数量。事实上，单个索对象的单元数量越少且荷载增量越大，非线性分析的收敛性反而更佳！

4 案例：索塔结构

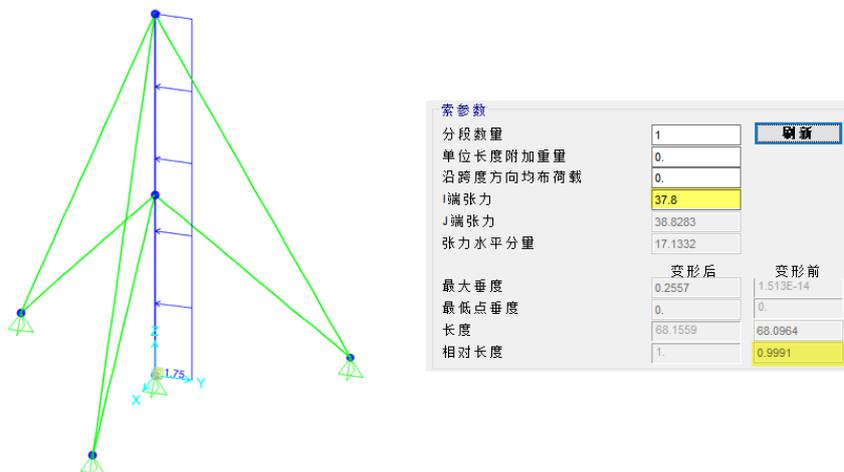


图 5 索塔结构及索参数



如图 5 所示的索塔结构，斜拉索的预拉力为 37.8kN，桅杆沿 Y 轴负向的风荷载为 1.75kN/m。从索变形前后的相对长度可以看出，斜拉索处于张紧状态，即：0.9991→1.0。其中，风荷载对应于框架对象的分布荷载；预拉力对应于索对象的目标力荷载。由于全部斜拉索的张拉力均在接地端施加，而根据索对象的绘制过程可知接地端即起始节点 1，故相对距离为零。关于目标力荷载的指定，如图 6 所示。

对于框架、钢束或索单元的目标力荷载，程序内部以多次迭代的方式施加轴向变形荷载，最终达到轴力目标值。目标力荷载与其它荷载的区别在于目标力并非增量荷载。也就是说，目标力只是当前工况或当前阶段结束时构件轴力的目标值，但程序在分析过程中所施加的变形荷载可能为正值、负值或零，具体数值往往取决于分析开始时结构的内力状态。

针对索的几何非线性属性，用户应分别定义预拉力和风荷载两个非线性荷载工况。其中，预拉力工况中应包括结构自重和目标力；风荷载工况则在继承预拉力工况的基础上，施加作用于桅杆的风荷载。由于桅杆的几何非线性可以忽略，故上述两个工况的几何非线性选项均为【无】即可。



图 6 斜拉索的目标力荷载

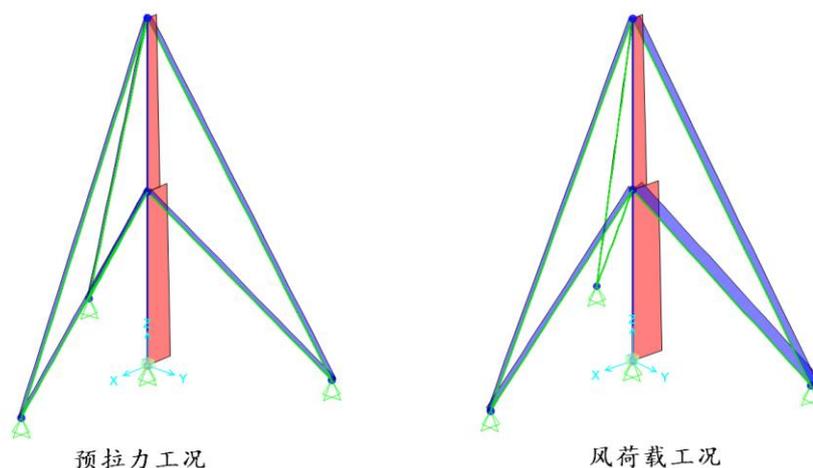


图 7 结构内力图对比

如图 7 所示，预拉力工况中各条斜拉索在接地端的轴力均为 37.795kN，与目标力（37.8kN）基本一致。而在风荷载工况中，考虑到风荷载的作用方向，各条斜拉索的拉力均发生不同变化。以上述三条长索为例，三者在地端的轴力分别为 64.823kN、38.785kN 和 11.895kN，与预拉力相比，有增有减。从本案例中可以看出，SAP2000 中的索单元可以考虑柔性索固有的应力刚化和大位移效应，同时求解与之相关的几何非线性问题。

4 小结

以上着重介绍了单悬索在竖向分布荷载作用下的平衡微分方程及其常见解答，并据此与 SAP2000 形状计算器中的多个重要参数进行一一对照。然后，针对索单元的非线性属性以及非线性分析中需要注意的事项进行了全面阐释。最后，以一个简化的索塔模型为例，展现了 SAP2000 在几何非线性分析中的适用性和可靠性。希望本文可以帮助各位读者深刻理解并灵活应用 SAP2000 的相关功能，切实有效地处理各种实际问题。

SAP2000 默认钢塑性铰验证算例

中信建筑设计研究总院有限公司 金波

1 默认铰属性生成原理

SAP2000 默认的钢铰属性有以下几种：

(1) 轴力铰：在点 B 和 C 间的斜坡取钢总应变强化的 3%；铰长度假定 Δ_y 为构件长度；初始受压斜率取为与初始拉伸斜率相同；受拉点 C、D、E 基于 FEMA 356 表 5-7，支撑受拉；受压点 C'、D'、E' 基于 FEMA 356 表 5-7，支撑受压，c 条。

(2) 弯矩铰和 PMM 耦合铰：在点 B 和 C 间的斜率取钢总应变强化的 3%； θ_y 是基于 FEMA 356，公式 5-1 和 5-2，即对于梁 $\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_b}{6EI_b}$ ，对于柱， $\theta_y = \frac{ZF_{ye}l_c}{6EI_c} (1 - \frac{P}{P_{ye}})$ ；点 C、D 和 E 基于 FEMA 356 表 5-6，对于 $b/2t_f < 52/\sqrt{F_{ye}}$ 的情况；PMM

曲线和单轴 M3 曲线相同，除了其总是关于原点对称外；梁屈服弯矩根据 FEMA 356 公式 5-3 计算而得， $Q_{CE} = M_{CE} = ZF_{ye}$ ；

P-M2-M3 相互作用面是从 FEMA 356 公式 5-4 计算而得， $Q_{CE} = M_{CE} = 1.18ZF_{ye}(1 - P/P_{ye}) \leq ZF_{ye}$ 。

式中： F_{ye} – 预期材料屈服强度(N/mm²)；

I – 惯性矩(mm⁴)；

l_b – 梁长度(mm)；

l_c – 柱长度(mm)；

P – 构件轴力(N)；

$P_{ye} = A_g F_{ye}$ – 预期轴向屈服力(N)；

Z – 塑性截面模量(mm³)；

Q_{CE} – 广义构成预期长度(mm)；

M_{CE} – 广义弯矩长度(mm)。

(3) 剪力铰：曲线关于原点对称；在点 B 和 C 间的斜率取应变强化的 3%；点 C、D、E 基于 FEMA 356 表 5-6，连梁，a 条。

表 1 列出 SAP2000 中定义塑性铰使用的 FEMA 356 相关表格。

FEMA 356 表 5-6 表 5-7 非线性分析模型参数和容许准则—钢构件 表 1

构成/作用	建模参数			容许准则				
	塑性转角 (弧度)	残余 强度 比	IO	塑性转角 (弧度)				
				功能等级				
	a	b	c	分量类型				
主				次				
			LS	CP	LS	CP		
梁-受弯								
a. $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ 且 $\frac{h}{t_w} < \frac{418}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ 或 $\frac{h}{t_w} \geq \frac{640}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$

其他	对翼缘长细比(第一项)和腹板长细比(第二项) 用 a 和 b 行进行线性插值, 使用结果的下限							
柱-受弯								
对 $P/P_{CL} < 0.20$								
a. $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ 且 $\frac{h}{t_w} < \frac{300}{\sqrt{F_{ye}}}$	$9\theta_y$	$11\theta_y$	0.6	$1\theta_y$	$6\theta_y$	$8\theta_y$	$9\theta_y$	$11\theta_y$
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ 或 $\frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	$4\theta_y$	$6\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$2\theta_y$	$3\theta_y$	$3\theta_y$	$4\theta_y$
对 $0.20 < P/P_{CL} < 0.50$								
a. $\frac{b_f}{2t_f} < \frac{52}{\sqrt{F_{ye}}}$ 且 $\frac{h}{t_w} < \frac{260}{\sqrt{F_{ye}}}$	_1	_2	0.2	$0.25\theta_y$	_3	_1	_4	_2
b. $\frac{b_f}{2t_f} \geq \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}}$ 或 $\frac{h}{t_w} \geq \frac{400}{\sqrt{F_{ye}}}$	$1\theta_y$	$1.5\theta_y$	0.2	$0.25\theta_y$	$0.5\theta_y$	$0.8\theta_y$	$1.2\theta_y$	$1.2\theta_y$
其他	对翼缘长细比(第一项)和腹板长细比(第二项) 用 a 和 b 行进行线性插值, 使用结果的下限							
支撑-受压								
c. W 或 I 形	$0.5\Delta_c$	$8\Delta_c$	0.2	$0.25\Delta_c$	$5\Delta_c$	$7\Delta_c$	$7\Delta_c$	$8\Delta_c$
g. 冷弯矩形钢管								
1. $\frac{d}{t} \leq \frac{90}{\sqrt{F_y}}$	$0.5\Delta_c$	$7\Delta_c$	0.4	$0.25\Delta_c$	$4\Delta_c$	$6\Delta_c$	$6\Delta_c$	$7\Delta_c$
2. $\frac{d}{t} \geq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$	$0.5\Delta_c$	$3\Delta_c$	0.2	$0.25\Delta_c$	$1\Delta_c$	$2\Delta_c$	$2\Delta_c$	$3\Delta_c$
3. $\frac{90}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{d}{t} \leq \frac{190}{\sqrt{F_y}}$	线性插值							
h. 圆管								
1. $\frac{d}{t} \leq \frac{1500}{F_y}$	$0.5\Delta_c$	$9\Delta_c$	0.4	$0.25\Delta_c$	$4\Delta_c$	$6\Delta_c$	$5\Delta_c$	$8\Delta_c$
2. $\frac{d}{t} \geq \frac{6000}{F_y}$	$0.5\Delta_c$	$3\Delta_c$	0.2	$0.25\Delta_c$	$1\Delta_c$	$2\Delta_c$	$2\Delta_c$	$3\Delta_c$
3. $\frac{1500}{F_y} \leq \frac{d}{t} \leq \frac{6000}{F_y}$	线性插值							
受拉支撑 (偏心支撑除外)	$11\Delta_T$	$14\Delta_T$	0.8	$0.25\Delta_T$	$7\Delta_T$	$9\Delta_T$	$11\Delta_T$	$13\Delta_T$

注:

1 塑形转角= $11(1-1.7P/P_{CL})\theta_y$ 。

2 塑形转角= $17(1-1.7P/P_{CL})\theta_y$ 。

3 塑形转角= $8(1-1.7P/P_{CL})\theta_y$ 。

4 塑形转角= $14(1-1.7P/P_{CL})\theta_y$ 。

$5\Delta_c$ 是预期屈服荷载下的轴向变形; Δ_T 是预期受拉屈服荷载的轴向变形。

6 P_{CL} 为柱抗压强度的下限值 (Lower-bound compression strength of the column)。FEMA 356 规定其值计算详 AISC (1997)

Seismic Provisions, 取 $\phi = 1.0$, 并以钢材最低强度 F_{yLB} 取代屈服强度 (shall be calculated in accordance with AISC (1997)

Seismic Provisions, taking and using the lower-bound strength for yield strength)。

2 模型概况

下面以一个 6 层钢框架-支撑结构为例, 采用 SAP2000 (版本 V16.1.0) 软件对其进行静力弹塑性分析, 验证 SAP2000 塑性铰是否满足 FEMA 365。

如图 1 所示的钢框架, 共 6 层, 层高 4.2 米, 平面尺寸如图 2 所示。抗震设防烈度 8 度, 设计基本地震加速度值为 0.30g。多遇地震水平地震影响系数最大值 0.24, 特征周期 0.45s, 阻尼比 0.04, 周期折减系数 0.9; 罕遇地震水平影响系数最大值 1.2, 特征周期 0.5s, 阻尼比 0.05, 周期折减系数 1.0。钢柱截面 $\square 250 \times 250 \times 12 \times 12$, 钢支撑 GZC 截面 $\square 200 \times 200 \times 12 \times 12$ 。钢号均为 Q235。

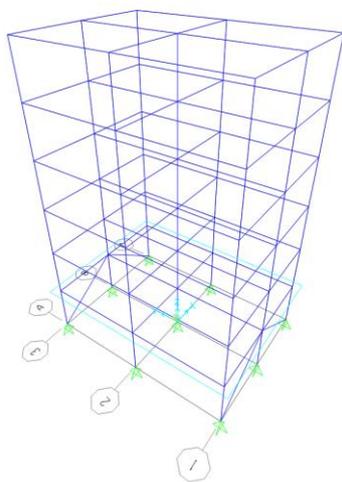


图 1 钢框架三维模型

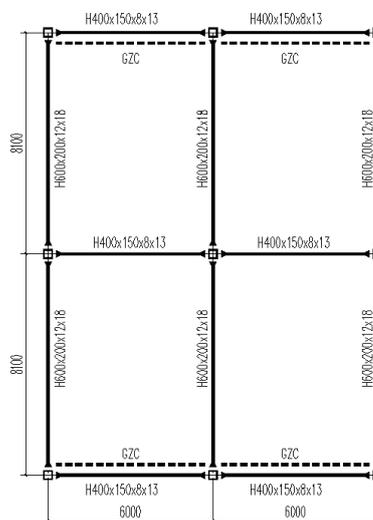


图 2 钢框架平面图

采用程序中默认的铰属性, 其本构关系基于 FEMA 356 的规定。在框架梁的两端 (0.1 倍梁长、0.9 倍梁长) 布置弯矩铰 (M3 铰), 在框架柱的两端 (0.1 倍柱长、0.9 倍柱长) 布置 P-M2-M3 铰, 在支撑杆件的中部 (0.5 倍支撑长度) 布置轴力铰 (P 铰)。

3 验算默认铰属性

塑性铰的属性是和构件截面相关, 本小节将根据 FEMA 356 计算默认塑性铰属性, 并与程序默认塑性铰属性对比。

3.1 钢梁默认 M3 铰属性计算 (图 3~图 5)

以第 2 层 ①~②/③梁为例, 计算 M3 铰属性。梁截面 HN400x150x8x13, 梁长度 6000mm。

$$\text{屈服转角: } \theta_y = \frac{ZF_{ye}I_b}{6EI_b} = \frac{1034402 \times 235 \times 6000}{6 \times 2.1 \times 10^5 \times 1.81 \times 10^8} = 6.395 \times 10^{-3}$$

与软件输出结果 6.397×10^{-3} 基本一致。

$$\text{屈服弯矩: } Q_{CE} = ZF_{ye} = 1034402 \times 235 = 2.431 \times 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

与软件输出结果完全一致。



图3 Q235 材料属性对话框

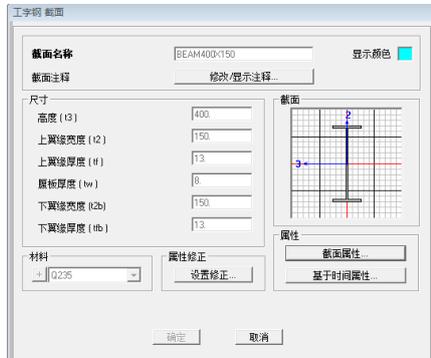


图4 钢梁截面属性



图5 框架铰属性数据 80H1-Moment M3

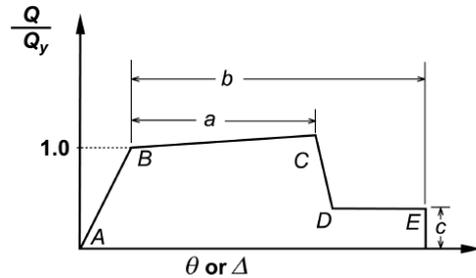


图6 钢构件塑性铰骨架曲线示意图 (摘自 FEMA 356 图 5-1)

由 FEMA 356 第 5.5.2.2.2 条知, BC 的斜率是 AB 斜率的 3%, 在 SAP2000 中, 塑性铰在弹性阶段是没有转角的, 故 BC 的斜率为 0.03 (图 6)。

$$\frac{b}{2t_f} = \frac{150}{2 \times 13} = 5.769 > \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}} = \frac{65}{\sqrt{235}} = 4.24$$

根据表 1, $a = 4\theta_y, b = 6\theta_y, c = 0.2, IO = 0.25\theta_y, LS = 2\theta_y, CP = 3\theta_y$

换算成弯矩/屈服弯矩、转角/屈服转角, 则 B= (0,1), C= (4,1.12), D= (4,0.2), E= (6,0.2)

容许准则塑性转角/屈服转角分别对应于: IO=0.25, LS=2, CP=3

与程序自动生成的塑性铰属性完全吻合。

3.2 钢柱默认 P-M2-M3 铰属性计算 (图 7~图 9)

以第 4 层④/③柱为例, 计算 P-M2-M3 铰属性。柱截面 $\square 250 \times 250 \times 12 \times 12$, 柱长度 4200mm。

1) 屈服转角计算

$$\text{当 } P=0 \text{ 时, 屈服转角: } \theta_y = \frac{ZF_{ye}I_c}{6EI_c} \left(1 - \frac{P}{P_{ye}}\right) = \frac{1020456 \times 235 \times 4200}{6 \times 2.1 \times 10^5 \times 1.081 \times 10^8} = 7.3946 \times 10^{-3}$$

与软件输出结果 7.393×10^{-3} 基本一致。

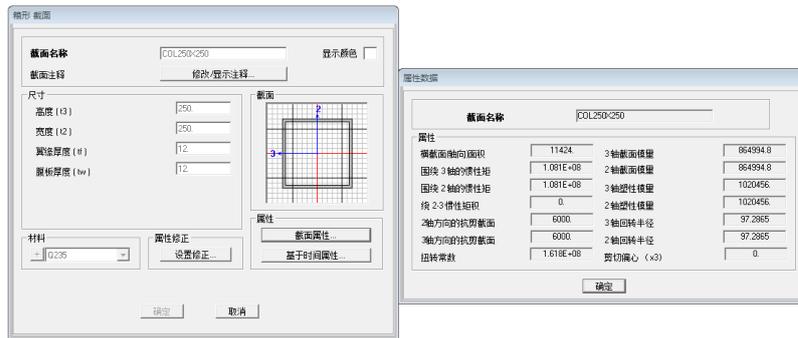


图7 钢柱截面属性

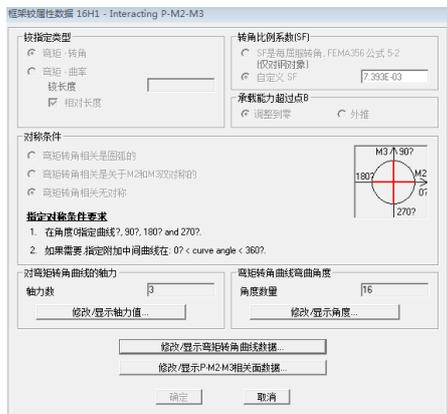


图8 框架铰属性数据 16H1-Interacting P-M2-M3

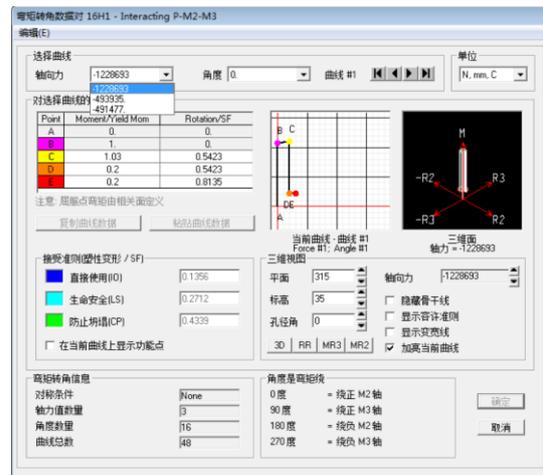


图9 弯矩转角数据对 16H1-Interacting P-M2-M3 (P1=1228693N)

2) 三个轴向力 $P_1 = 1228693N$ 、 $P_2 = 493935N$ 、 $P_3 = 491477N$ 的计算

根据 AISC 360-10 (Specification for Structural Steel Buildings) 公式 (E 3-4), 钢柱弹性屈曲应力 (elastic buckling stress):

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 210000}{\left(\frac{1.0 \times 4200}{97.2865}\right)^2} = 1112.05 N / mm^2$$

其中计算长度系数 K 根据 AISC 360-10 附录 7 说明, 当考虑二阶效应时, $K=1.0$ 。

根据 AISC 360-10 公式 (E3-2):

$$\frac{KL}{r} = \frac{1.0 \times 4200}{97.2856} = 43.17 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.8$$

$$\frac{F_y}{F_e} = \frac{235}{1112.05} = 0.2113 < 2.25$$

临界屈曲应力 (critical stress): $F_{cr} = \left[0.658 \frac{F_y}{F_e} \right] F_y = \left[0.658 \frac{235}{1112.05} \right] \times 235 = 215.107 N / mm^2$

柱的名义抗压强度 (nominal compressive strength): $P_n = F_{cr} A_g = 215.107 \times 11424 = 2457385.504 N$

柱下限受压强度: $P_{cl} = \phi_c P_n = 1.0 \times 2457385.504 = 2457385.504 N$

其中 ϕ_c (抗压稳定系数 Resistance factor for compression) 根据 FEMA356 规定取 1.0。

程序根据 FEMA 356 表 5-6、表 5-7:

$$P_1 = 0.5 P_{cl} = 0.5 \times 2457385.504 = 1228693 N$$

$$P_2 = 0.201P_{CL} = 0.201 \times 2457385.504 = 493935N$$

$$P_3 = 0.2P_{CL} = 0.2 \times 2457385.504 = 491477N$$

与软件输出结果完全一致。

3) 骨架曲线及容许准则计算 (为节省篇幅, 仅计算轴力 $P_1 = 1228693N$ 时骨架曲线及容许准则计算)

当轴力 $P_1 = 1228693N$ 时,

$$\frac{\theta_{y1}}{\theta_y} = 1 - \frac{P_1}{P_{ye}} = 1 - \frac{P_1}{A_g F_{ye}} = 1 - \frac{1228693}{11424 \times 235} = 0.5423$$

$$\frac{b_f}{2t_f} = \frac{250}{2 \times 12} = 10.417 > \frac{65}{\sqrt{F_{ye}}} = \frac{65}{\sqrt{235}} = 4.24$$

$$0.2P_{CL} < P_1 < 0.5P_{CL}$$

根据表 1,

$$a = \theta_{y1} = 0.5423\theta_y, b = 1.5\theta_{y1} = 0.8135\theta_y, c = 0.2,$$

$$IO = 0.25\theta_{y1} = 0.1356\theta_y, LS = 0.5\theta_{y1} = 0.2712\theta_y, CP = 0.8\theta_{y1} = 0.4339\theta_y,$$

换算成弯矩/屈服弯矩、转角/屈服转角, 则 $B = (0, 1)$, $C = (0.5423, 1.03)$, $D = (0.5423, 0.2)$, $E = (0.8135, 0.2)$

容许准则塑性转角/屈服转角分别对应于: $IO=0.1356$, $LS=0.2712$, $CP=0.4339$

与程序自动生成的塑性较属性完全吻合。

3.3 钢支撑默认 P 较属性计算 (图 10、图 11)

以第 1 层Ⓐ~Ⓑ/Ⓒ钢支撑为例, 计算 P 较属性。钢支撑截面 $\square 200 \times 200 \times 12 \times 12$ 。

$$\frac{d}{t} = \frac{200}{12} = 16.67 > \frac{190}{\sqrt{F_{ye}}} = \frac{190}{\sqrt{235}} = 12.394$$

根据表 1,

$$\text{支撑受压时, } a = 0.5\Delta_c, b = 3\Delta_c, c = 0.2, IO = 0.25\Delta_c, LS = 1\Delta_c, CP = 2\Delta_c$$

$$\text{支撑受拉时, } a = 11\Delta_T, b = 14\Delta_T, c = 0.8, IO = 0.25\Delta_T, LS = 7\Delta_T, CP = 9\Delta_T$$

换算成位移/力, 则 $B' = (0, -1)$, $C' = (-0.5, -1.015)$, $D' = (-0.5, -0.2)$, $E' = (-3, -0.2)$

$B = (0, 1)$, $C = (11, 1.33)$, $D = (11, 0.8)$, $E = (14, 0.8)$

容许准则塑性位移

受压 $IO=-0.25$, $LS=-1$, $CP=-2$

受拉 $IO=0.25$, $LS=7$, $CP=9$

与程序自动生成的塑性较属性完全吻合。

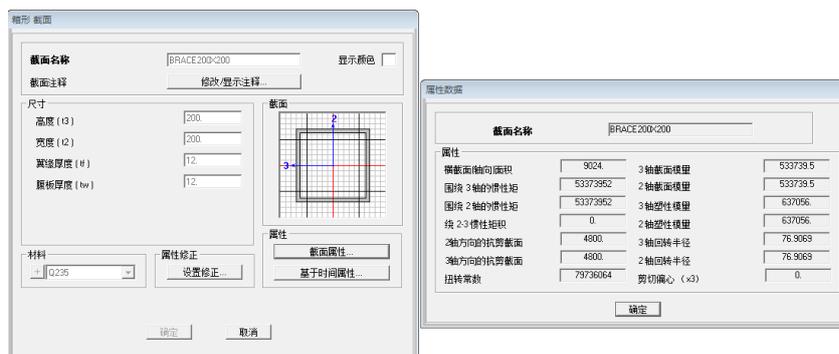


图 10 钢支撑截面属性

支撑轴力铰的屈服拉力： $F = F_{ye}A = 235 \times 9024 = 2120640N$

与软件输出结果完全一致。

支撑轴力铰的屈服压力与上述屈服拉力的计算方法有所不同，严格来讲，此处的屈服压力应理解为“受压屈曲荷载”，故屈服压力与构件长细比密切相关。具体如下：

根据欧拉公式计算构件的弹性屈曲荷载： $F_e = \frac{\pi^2 EI}{(\mu l)^2} = \frac{\pi^2 EI}{l^2} = \frac{\pi^2 \times 210000 \times 53373952}{4200^2 + 6000^2} = 2062336.992N$

支撑两端弯矩被释放铰接（两端铰接），故计算长度系数 $\mu = 1.0$ 。同时，截面惯性矩 I 取最不利数值，即主轴（3 轴）和次轴（2 轴）的较小值

根据 AISC 360-10 章节 E3 中的公式计算临界长细比： $\lambda_{cr} = 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_{ye}}} = 4.71 \times \sqrt{\frac{210000}{235}} = 140.798$

支撑长细比： $\lambda = \frac{\mu l}{i} = \frac{1.0 \times \sqrt{4200^2 + 6000^2}}{76.9069} = 95.2312$

回转半径 i 取主轴和次轴的较小值。

根据构件长细比与临界长细比的相对大小，选择受压屈曲荷载的计算公式。具体如下：

$$\lambda > \lambda_{cr}, F_{cr} = 0.877F_e$$

$$\lambda < \lambda_{cr}, F_{cr} = 0.658^{F/F_e} F$$

其中， F_{cr} 为受压屈曲荷载， F_e 为弹性屈曲荷载， F 为屈服拉力。

本例题， $\lambda = 95.2312 < \lambda_{cr} = 140.798$ ，受压屈曲荷载

$$F_{cr} = 0.658^{F/F_e} F = 0.658^{2120640/2062336.992} \times 2120640 = 1378967.476N$$

与软件输出结果完全一致。

轴向受拉变形： $\Delta_T = \frac{Fl}{EA} = \frac{2120640 \times \sqrt{4200^2 + 6000^2}}{210000 \times 9024} = 8.1958mm$

轴向受压变形： $\Delta_C = \frac{F_{cr} l}{EA} = \frac{1378967.476 \times \sqrt{4200^2 + 6000^2}}{210000 \times 9024} = 5.3294mm$

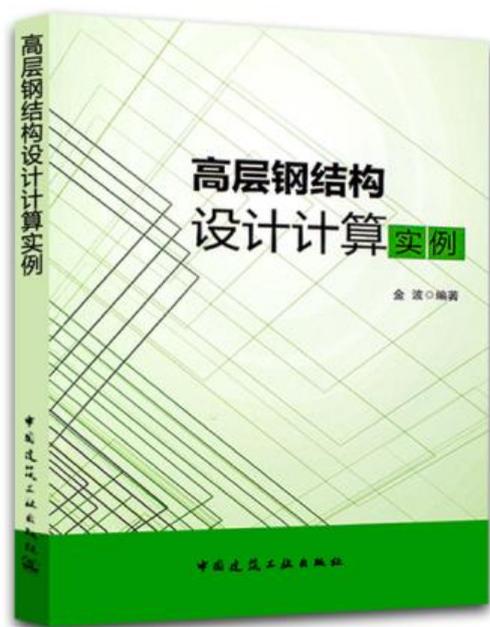
与软件输出结果完全一致。



图 11 框架铰属性数据 127H1-Axial P

4 小结

从以上计算过程可以看出，SAP2000 中钢构件塑性铰全部是按照美国的规范计算，而美国规范中钢材的强度、本构关系以及各种计算公式，均与中国规范不同。但是中国规范对于大震分析的主要方法所言甚少，特别是对于提到的几种方法的具体内涵没有详细的解释，规范对于大震的量化指标仅有大震下结构整体弹塑性层间位移角，对不同材料的结构构件弹塑性变形性能没有明确规定。因此，目前我们主要依据美国的规范对结构进行大震性能的评估。由于 FEMA 356 中关于塑性铰的计算、材料的选用、最小配筋率要求以及单位均按照美国标准 AISC（钢结构）、ACI 318（钢筋混凝土结构）等取用，与我国的情况有明显不同。因此，《大震下的静力推覆分析及其在工程建模分析中的应用参数设置研究》（郑竹、黄用军《工业建筑》2008，（S1））一文指出，对于钢筋混凝土结构，需要对软件中关于塑性铰的参数定义进行修正，修正的实质在于根据我国材料以及弹性计算的配筋重新确定 B、C、D 及 E 的取值。



【编者注】本文节选自《高层钢结构设计计算实例》一书。全书共分为六章，分别是概论、对高层钢结构的结构选型、高层钢结构计算分析、高层钢结构构件计算与设计、高层钢结构的构造、高层钢结构 PKPM 计算实例。以《高层民用建筑钢结构技术规程》JGJ 99-2015 内容为主线，结合《钢结构设计规范》GB50017-2003 和《建筑抗震设计规范》GB50011-2010 等相关规范，详细讲解了规范的具体内容，对规范计算公式配以算例，对规范不够详细的地方做了解释，对规范不尽合理的地方提出了自己的建议。本书实用性强，适用于钢结构设计人员参考使用，也可作为高等院校结构工程专业师生的教学参考书。

该书在京东、淘宝、当当、卓越均有售。

PLAXIS 3D 高级建模功能与应用

筑信达 王旭刚

在筑信达第一期技术通讯中，我们对 PLAXIS 基本建模方法进行了汇总，除此之外，软件还提供一些高级建模功能来简化建模过程，快速查找模型缺陷。熟练掌握这些建模功能可提高建模效率，避免因几何模型误差而导致后续网格划分失败或计算结果错误。本文将详细介绍 PLAXIS 3D 中的高级建模功能与应用，主要内容包括布尔运算在 PLAXIS 3D 中的实现方法、模型的检查与修改方法等。

1 布尔运算在 PLAXIS 3D 中的实现方法

布尔运算可将多个几何对象通过取并集、交集和差集的方式，生成新的特征或几何对象。PLAXIS 3D 中提供了合并 (Combine)、交叉 (Intersect and Recluster)、分解 (Decompose) 及删除 (Delete) 等方式来实现布尔运算以简化建模过程。通过上述功能，可对简单的几何模型进行加工和修改，创建复杂的三维几何模型。

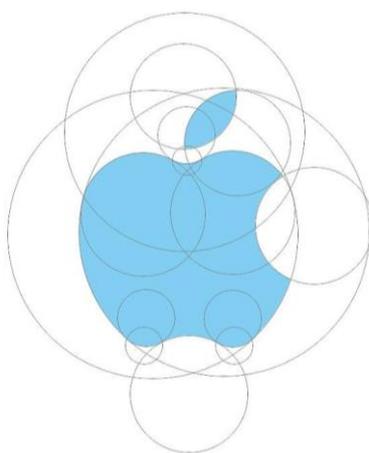


图 1 布尔运算案例

1.1 合并 (Combine)

合并相当于布尔运算中的并集，只能施加于同属性的几何对象，可将多个几何对象合并成为一个整体，如：线只能与线合并、面只能与面合并。如图 2 所示，图形操作界面中使用鼠标右键合并多个对象，会生成新的几何对象，而合并前的几何对象会被删除。除了图形操作界面中的操作外，还可通过命令形式选择是否删除合并前的几何对象，详细信息可在命令手册中搜索“Combine”查看。

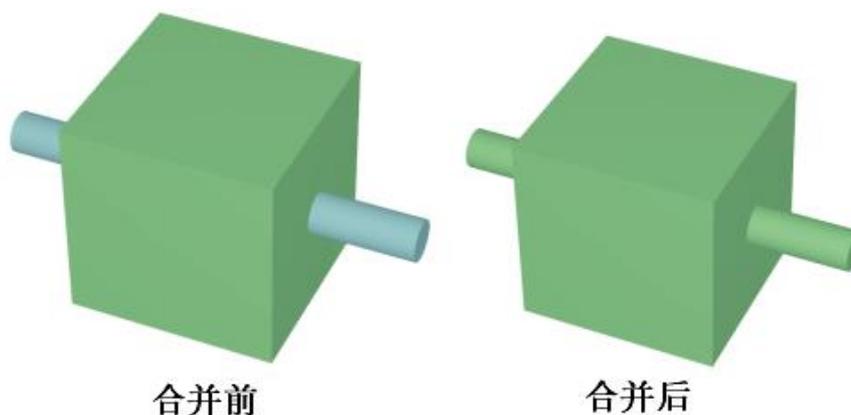


图 2 合并同属性几何对象

将首尾相接、闭合的线对象合并后，会生成多段曲线（原线段被删除），如图3（左图）所示。在此基础上，右键合并后的多段曲线可创建面（多段曲线保留），如图3（右图）所示。同理，合并闭合的面，可生成体（面被删除）。

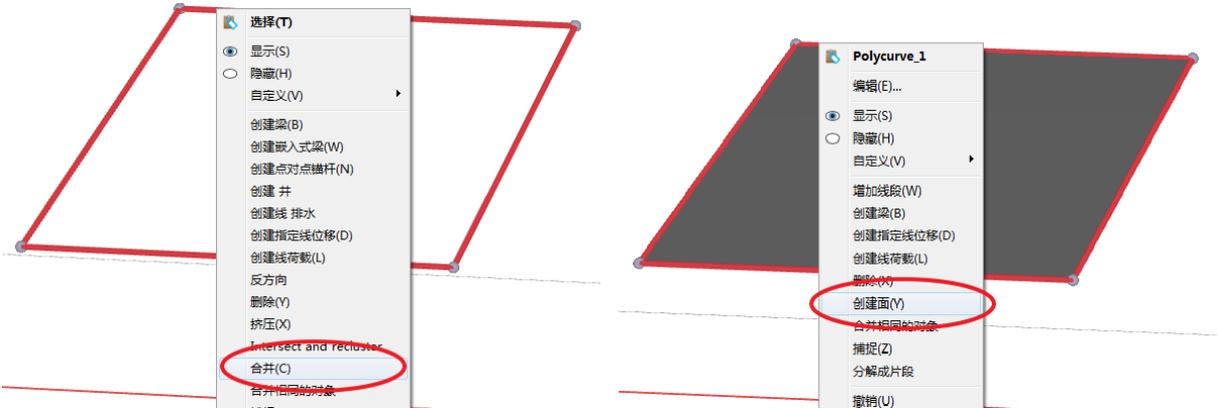


图3 合并闭合的线&基于多段曲线创建面

注意：默认情况下，几何对象之间并无从属关系。同属性的几何对象合并、删除后，并不会影响其下一级的几何对象。如面与面合并，不会删除面的轮廓线。但更改、删除线的端点后，软件会根据其端点位置更新、删除线。

1.2 分解 (Decompose)

分解可将几何对象分解为更低一级的几何对象，分解前后的几何对象都会被保留。体可分解为面；面可分解为面、轮廓线段；多段曲线可分解为片段（线）。

应用实例：[实体桩模拟方法](#)

如图4所示，建立实体桩时，可通过拉伸工具将面拉伸成柱体来模拟实体桩，再使用分解功能将体分解为面，然后选择与土体接触的面，创建界面单元来模拟桩与土之间的相互作用。

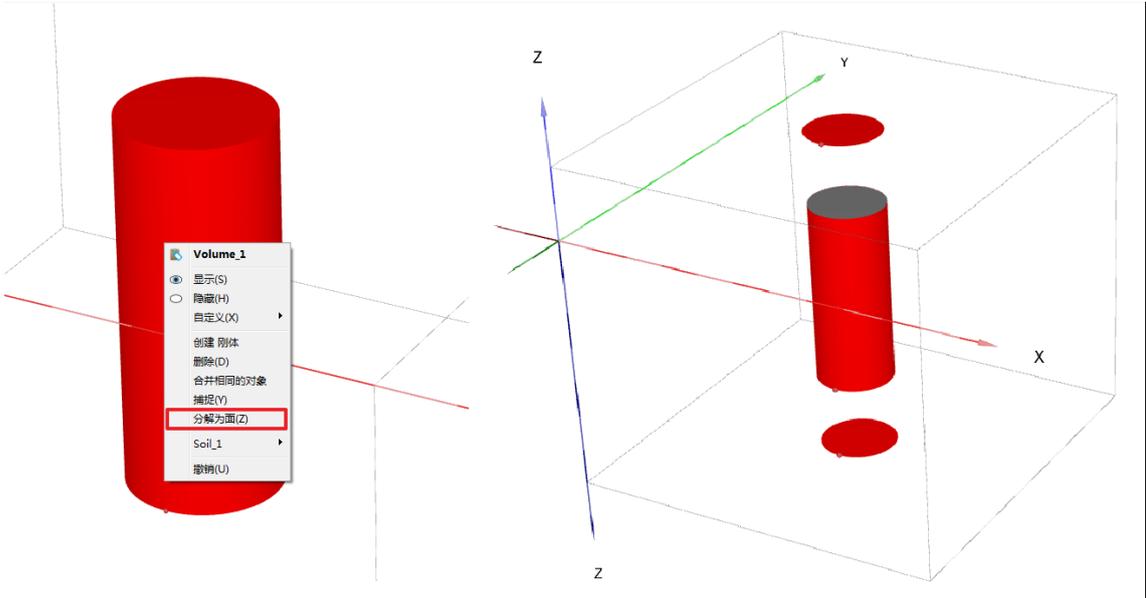


图4 分解功能的应用

1.3 交叉 (Intersect and Recluster)

如图5所示，交叉功能可施加于多个几何对象，将其重叠部分单独取出，不重叠的部分保留下来。交叉命令非常灵活，除了对同属性的几何对象进行交叉外，还可施加于不同属性的几何对象。

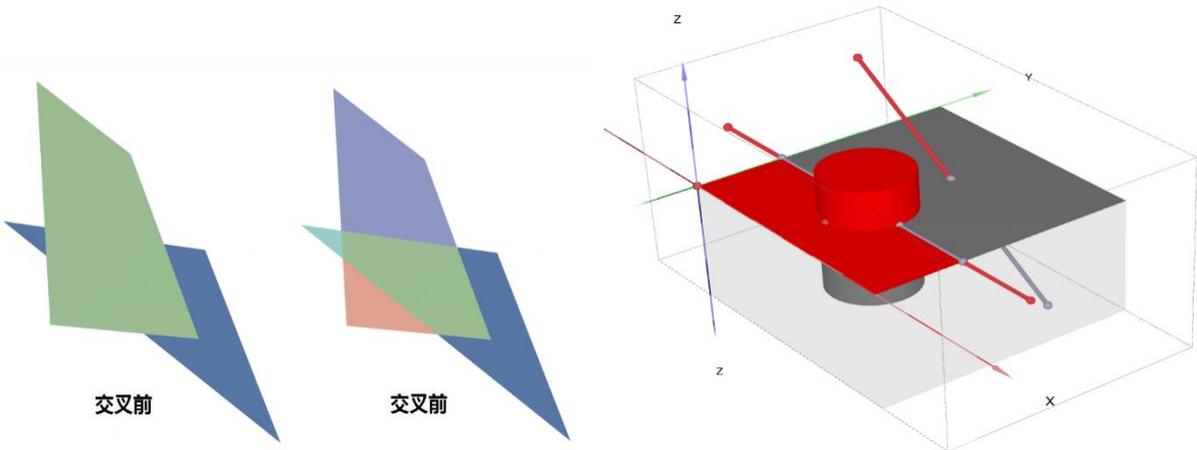


图 5 交叉功能示意图

2 几何模型的检查与修改方法

PLAXIS 3D 中提供了模型导入功能，用户可将已建好的 dxf 等格式文件直接导入，简化建模过程。但用户在 AutoCAD 中建模时，容易因捕捉错误而导致几何模型分离、交叉（图 6），这些极小的误差会使网格划分失败。PLAXIS 3D 中提供了合并相同对象、捕捉等高级建模命令，可以帮助用户检查、修复模型。

2.1 合并相同对象 (Merge equivalent geometric objects)

合并相同对象可将距离在容差范围内（默认为 0.001）的多个同类几何对象，合并为一个单独的对象。除了选中对象后点击鼠标右键进行合并外，还可使用命令方式，根据模型尺寸合理设置容差范围，软件命令手册与参考手册中有详细介绍，此处不再赘述。

应用实例：合并重复的点和线

建模过程中，可能因操作不当、导入模型不精确而产生重合的线，导致无法进入网格划分步骤。如图 6 所示，在 AutoCAD 中绘制的基坑内支撑结构存在重复的几何线，导入 PLAXIS 3D 后软件提示有搭接线，无法进入网格划分步骤。此时在结构步骤中输入 mereq geometry 命令，可检查整个模型并删除重复的对象。

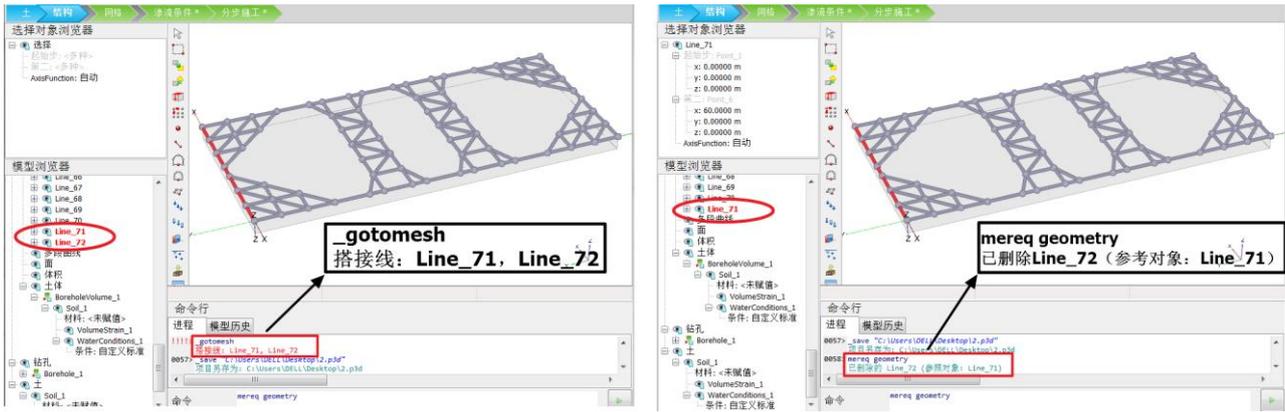


图 6 合并相同的对象

2.2 捕捉 (Snap)

捕捉是将容差（默认为 0.001）范围内的几何对象，捕捉到相同的位置上。当我们建立的几何模型存在极小的分离、交叉或重叠等错误时，可使用捕捉命令将其移动到正确位置，避免因几何尺寸过小而导致网格划分失败。

应用实例：锚定式板桩墙

如图 7 所示，锚杆端点未精确布置在板桩墙面上，导致网格划分时提示有“不精确的捕捉对象”。通过观察命令行中软件提示信息，以及红色线框范围找出误差出现位置，分析错误原因。查看锚杆发现其端点坐标存在偏差，在命令行输入 `snap geometry`，将锚杆端点捕捉到板桩墙面上。

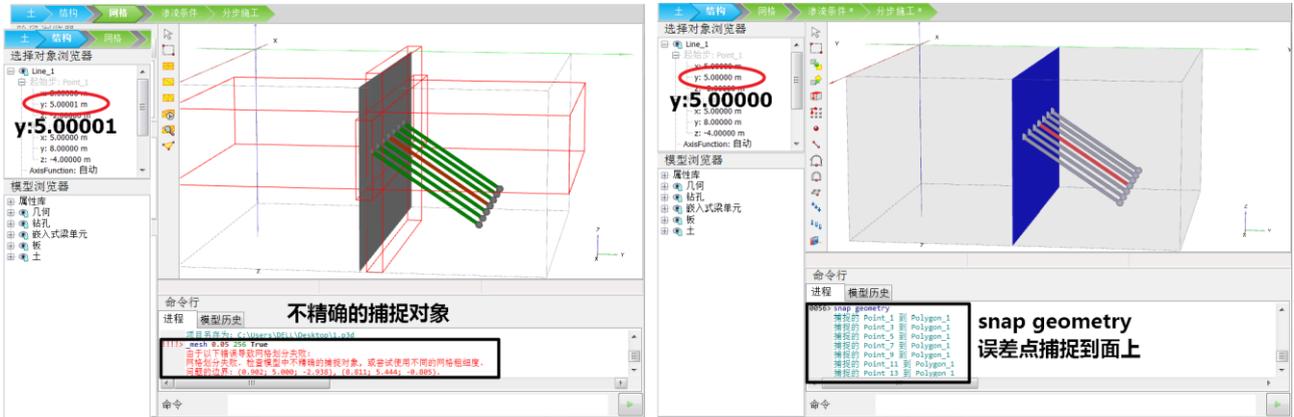


图 7 捕捉功能示意图

总的来说，用户通过以上命令可检查修复模型误差，提高网格划分成功率。但误差也是相对而言，对于划分好的网格模型，还可进入后处理查看网格质量。通过分析网格质量优劣，来返回前处理程序中修改网格尺寸、分析几何模型是否存在误差，最终使模型满足数值计算要求。具体方法请参考筑信达第一期技术通讯文章《PLAXIS 网格优化方法介绍》。

3 小结

以上展示了 PLAXIS 3D 高级建模功能与应用，用户可根据模型实际情况灵活搭配不同功能，用以简化建模过程，快速查找模型缺陷等。更多相关内容请访问筑信达主页 (www.cisec.cn) 知识库、技术通讯及优酷视频等资源：

PLAXIS 3D 布尔运算工具

PLAXIS3D 绘图的技巧与提示

点与线对象导入 PLAXIS 3D 模型的方法

AutoCAD 三维实体导入 PLAXIS 3D

CSiBridge 快速模板衍生应用

筑信达 魏赞洋

CSiBridge 中进一步深化了 SAP2000 基于对象的概念。由于模型中引入了类似于 BIM 的实际工程信息，使得 CSiBridge 在常规桥梁的建模、分析以及设计过程中更加智能高效。例如，由此产生的快速建模和参数化修改功能，能够帮助工程师迅速完成建模，并轻松应对实际设计中的频繁设计改动。目前支持参数化建模的部分桥梁类型如图 1 所示，基本涵盖了常见的基本桥梁类型。



图 1 快速建模支持的桥梁类型

但是实际工程千变万化，通常会有常规桥梁模板难以覆盖到的桥梁类型，难以完全包含于通用桥梁模板中。但是在 CSiBridge 中除了包含针对常规桥梁的对象参数化操作，也保留了基于构件的基本修改建模功能。两者结合基本能够应对所有的实际工程。本文列出几个快速模板的衍生应用方法，为大家提供复杂特殊桥梁的建模思路。

1 拱桥

在 CSiBridge 中并没有针对拱桥的快速建模模板。但是可以利用快速建模功能快速生成拱桥的桥面系，并配合 dxf 文件快速导入功能完成拱肋的建模。如图 2 所示的中承式钢管混凝土拱桥即可根据该思路进行建模。该桥总跨度 220m，桥面宽 32m，拱肋为钢管混凝土桁架。

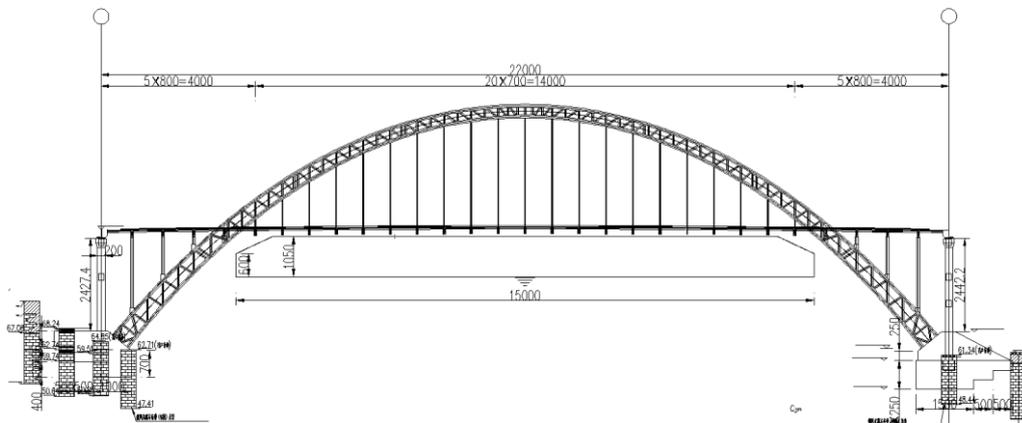


图 2 示例中承式拱桥

拱轴线型为悬链线，可以适用 AutoCAD 在 dxf 文件中事先完成绘制。不同截面的杆件应保存于不同图层，以方便分别赋予截面。绘制的 dxf 图形如图 3 所示。在 dxf 文件中将桥台对应的位置为 0,0 点即可实现导入后的拱圈与程序快速生成的桥面系直接保持正确的相对位置关系。

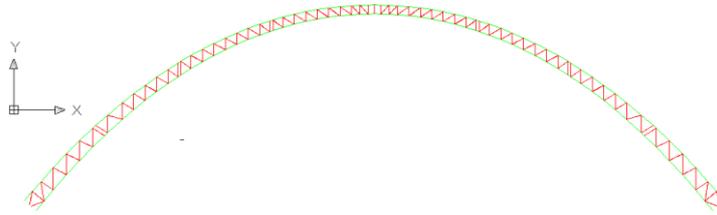


图 3 CAD 中绘制的 dxf 文件

在 CSiBridge 中选择文件>导入>AutoCAD 即可选择事先绘制的 dxf 文件。在完成拱肋的导入之后即可通过高级选项卡>编辑面板中的功能对导入的拱肋进行复制、移动和拉伸等操作。该示例工程中荷载传递路径为桥面板>纵梁>横梁>吊杆>拱圈。桥面系所采用的横截面如图 4 所示。在软件中可以通过构件选项卡>上部结构面板>横断面选项设置桥面系横断面。可以使用 I 型预制梁组合断面模拟桥面系，具体的参数设置如图 5 所示。横梁吊杆和立柱可以通过高级选项卡>绘图面板中的绘制功能手动添加。最终模型的外观如图 6 所示。

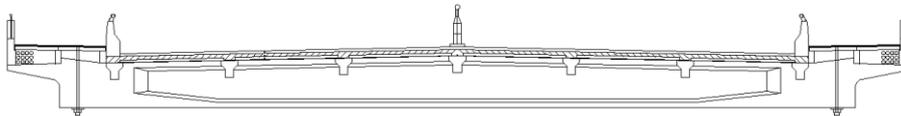


图 4 示例拱桥桥面系横断面

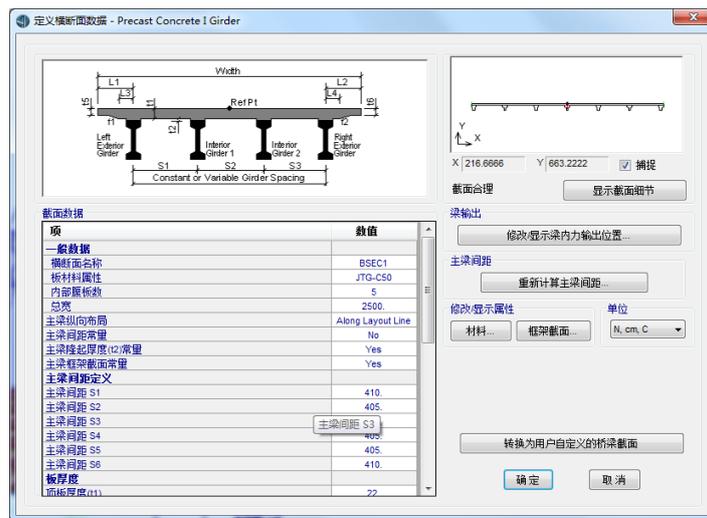


图 5 上部结构横断面参数设置

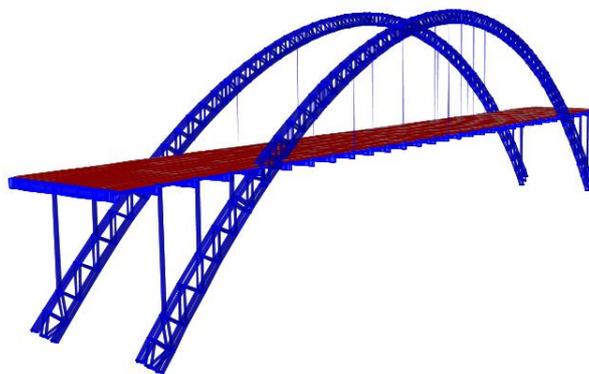


图 6 桥面系由快速桥梁模板生成 拱肋由 dxf 导入的拱桥模型

2 槽型梁桥

在城市交通等一些建筑高度受限的位置，通常会考虑采用槽型梁。这是一种比较常见但快速模板没有包含的桥梁截面类型。但是在实际的建模中可以通过间接手段获得该截面。在实际建模过程中，首先定义如图 8 所示的单室混凝土箱梁。将上部结构离散为实体单元，然后手动删除顶板即可得到所需的槽型梁，如图 7 所示。通过调整图 8 窗口中最下方的参数，即插入点位置 Y 偏移可以将截面的插入点调整到底板平面上。这样以布局线为基准定义的车道荷载即可自动作用于槽型梁底板上。

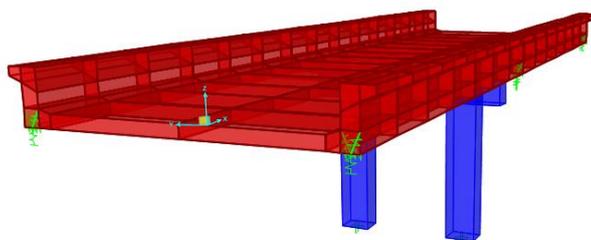


图 7 槽型梁桥梁外观图

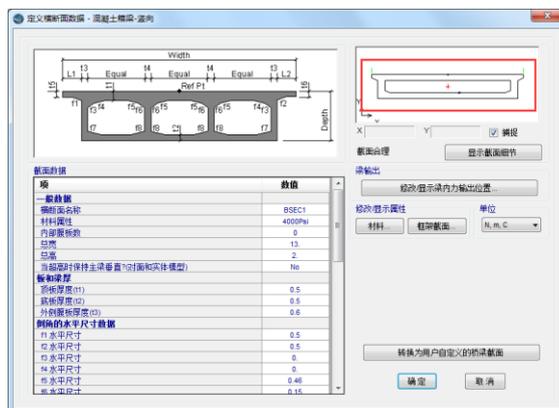


图 8 槽型梁截面定义

3 波纹刚腹板箱梁桥

波纹刚腹板梁桥以其较高的预应力效率而得到了较大面积的推广。该截面同样没有收录到 CSiBridge 的截面库中。但是同样可以采用一些手动处理模拟该类截面。在示例模型中可先采用参数建模的方式建立混凝土箱梁的实体模型。在离散成实体模型之后，手动删除混凝土实体腹板。并通过高级选项卡>绘制面板>绘制壳单元命令绘制正交异性壳单元来模拟波纹刚腹板。模型外观和计算结果如图 9 所示。但此时应注意，此时上部结构内力输出的结果为仅包含顶底板部分的截面弯矩，不考虑波纹刚腹板对截面内力的贡献。

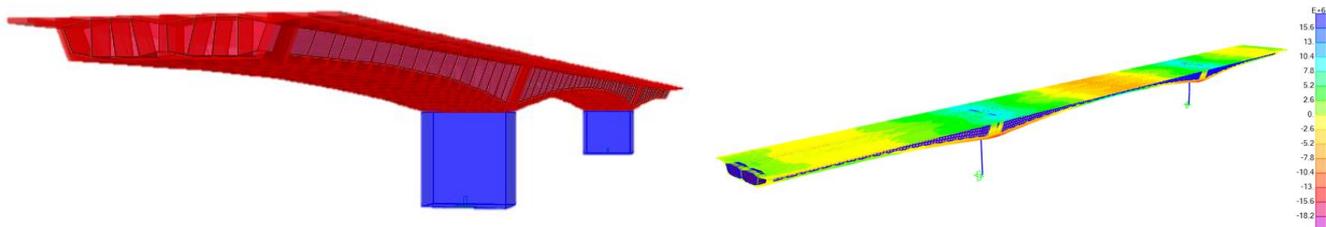
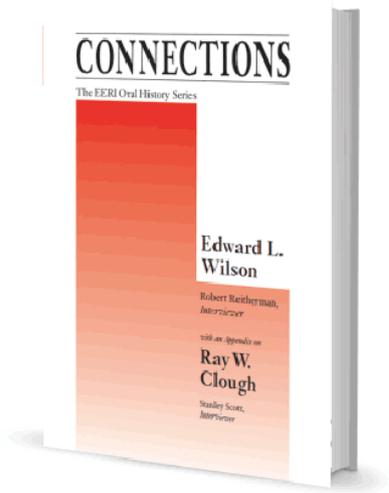


图 9 波纹刚腹板模型外观以及计算结果

【编者按】本期为 Edward L. Wilson 教授访谈回忆录（5）。《Connections: The EERI 口述历史系列》是美国地震工程研究所（Earthquake Engineering Research Institute）出版的对中国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！



第十一章

从大型计算机到个人电脑的转变

1979 年我 48 岁的时候，对用昂贵的大型计算机已经失去了兴趣；能够在家里就使用自己的个人电脑令我焕发活力。

替换 CDC 6400

Wilson: 1978 年的时候，伯克利校园最强大的计算机是使用了 16 年的 CDC 6400，所有的使用者必须以打孔卡或磁带的形式提交计算任务，在 Richmond 野外站和 Davis Hall 五层有远程的读卡器和打印机。1976~1979 年期间我曾担任计算学术评议委员会的主席，这个委员会是由伯克利在计算机应用科研和教学方面最重要的教师组成。因此，我了解伯克利校园的计算机水平，我们的职责就是向分管计算机的副校长推荐采购何种计算机来替代老旧的 CDC 计算机。

许多院系已经采购了多用户小型计算机系统，比如，由数字设备公司 DEC 于 1977 年首次推出的 VAX-11/780。VAX 具有 32 位内存及“虚拟地址扩展”指令，可以把低速硬盘自动转换为内存块；VAX 的价格大约是 \$100,000 到 \$200,000，可以支持任意数量的独立用户。我个人是在 1978 年开始用 VAX 的，发现只有一个人使用时，其浮点运算速度与老 CDC 6400 几乎一样；但超过 10 人使用，运行速度就会极其缓慢；坐在终端前干等简单问题的结果是不可接受的。接下来的几个月里，我又回到 CDC 6400，发现在办公室使用小盒打孔卡片准备数据效率更高，每天从楼梯跑下来到第五层来回几趟，也是很好的锻炼。

我们计算机委员会不能够对所有院系通用大型计算机购买进行推荐，但副校长继续驳回利用系里的资金购买计算机的请求。最后，他由于健康原因离职了，我们没有了阻止院系购

买计算机的副校长，但在处理订单之前，购买院系需要一个签字。校管理机构决定，如果计算学术评议委员会主席签字，那么就批准购买。从那时到我下一次学术休假的 1979 年期间，每周我都大概会批准两个计算机采购订单。大约 4 年后，管理层以三百万美金购买了一台二手的克雷 Cray 计算机。那时，校园里的研究人员发现了一个方法可以使用 Livermore（加州中部）劳伦斯实验室的大型计算机，因此，校园内的克雷使用量并不太大。

个人电脑介绍

Wilson: 在此期间，一些学生和教师开始使用个人电脑，比如 Commodore Pet、Apple 或具有 Intel 8080 处理器的 CPM 系统。在 1979 年春季学期，本地的一个结构工程师 Ron Kraft 打电话给我，他在奥克兰有间一个人的公司，他告诉我说，他用零件组装了一台 CPM 计算机系统，他想要一个简单的结构分析程序来测试他的新电脑。我问：“有 FORTRAN 编译器吗？”他说：“有，微软以\$250 卖给了我一份”。

我的第一台个人电脑

Wilson: 检验 Ron Kraft 的 CPM 计算机系统后，我发现它与多用户的 VAX 780 相比而言，编译 FORTRAN 程序要快许多，而后者是 UNIX 操作系统，价值\$200,000。因此，我也在家里的办公室花了大约\$6,000 组装了一台 CPM 个人电脑系统。

Reitherman: 我拥有的第一台电脑也是用零件组装的，我认为是一个简陋产品，在 1984 年，就像是拼飞机模型，除了小电路连接外，到处是线缆，最终需要一个塑料外壳罩起来，突然就觉得看起来是台个人电脑，具有 64K 内存。你是用各种零部件来装的电脑吗？

Wilson: 我把不同厂商的零件组装到一起，不同颜色的盒子是用杂乱无章的线缆来连接，在我的木工间花了几个小时就把线缆理顺了，我做了一个引人注目的胡桃木支架，这样就可以方便地推到不同房间。

通讯程序

Wilson: 在家有自己的个人电脑之前，我用终端和低速的电话猫（modem，调制解调器），连接伯克利校园 Evans Hall 的 CDC 6400 或 Cory Hall 的 VAX 780。然而，如果想从 CDC 传送一个程序或文件到 VAX，我必须去校园拿着磁带从 Evans Hall 去 Cory Hall，这就是 1979 年在伯克利校园进行电子信息交换的现状。因此，我为自己 PC 编制的第一个 FORTRAN 程序是，从任何远程计算机传送文件并把文件存贮在我家的 8 英寸软盘上。这样我就可以将它传送到世界上其他任何一台连着电话线的电脑。这个通讯模式程序命名为 C-Mode，基于美国 ASCII 标准所定义的 256 个字符，这与我的 Intel 8080 CPM 电脑系统的 8 位二进制中央处理器非常兼容，这相比于只能涵盖大写字母、数字和一些其他字符的 80 栏打孔卡，是一个巨大的进步。

这是使用电脑的两个个体进行通讯的非常简便的方式，速率相对较低，只有 300 b/s，在标准电话线路上发送和接收一个 8 字节字符需要 0.10 秒；然而，这是现代互联网开发的先驱，直到 1981 年 NSF 才开始资助计算机科学网络（CSNET），数年之后才进入正式运作。

全屏编辑与字处理系统 Eddie

Wilson: 在编写 C-Mode 程序期间，我学会了如何方便快速地用 FORTRAN 语言来处理 8 字节字符数据，很容易在屏幕上显示超过 20 行数据，可以方便地在行间来回移动光标，删除或插入字符。我就可以非常快速地准备或编辑文件，而不需要连接低速的电话线。这个编辑功能整合入 C-Mode 软件成为一个新的软件，重新命名为 Eddie。那时，UNIX 系统有一个叫 Troff 的程序（注：Troff 可追溯到文本格式软件 RUNOFF，是 Jerome H. Saltzer 在 1960 年代中期为 MIT 的 CTSS 操作系统所编制。据说其名称来源于 “I'll run off a document，我要处理文件。” Bob Morris 将其移植到 GE 635 架构，命名为 ROFF（runoff 的同义词），用来在不同打印机上进行文档打印。我在 Eddie 里添加了几个 Troff 最重要的命令，用逗号来分栏标识。我就可以用它来打印技术文章和报告，比如典型的 EERC 报告。过去 30 多年之后，我以前的学生还告诉我说 Eddie 是他们用过的最方便的编辑器和字处理程序。

对 SESM 教学的冲击

Wilson: 1980 年夏天，Radio Shack 开始出售使用 CPM 操作系统的台式电脑，有一个 8 英寸驱动器，价格大约为 \$3,000——比我家里的电脑便宜一半。Bob Taylor 那时是 SESM 主席，用 \$20,000 设备资金去买了 6 台 Radio Shack 电脑和 1 台打印机，这些新设备在 Davis Hall 6 楼建了一个个人电脑实验室，之前这里是 CDC 6400 打孔终端放置的地方。因此，我于 1980 年秋天回去教学的时候，我所有的本科生和研究生课程都可以使用个人电脑的强大功能来求解实际的结构工程问题。那个时候，Unix 系统只能用行编辑器，一天的大部分时间里都非常慢；然而，个人电脑可以 24 小时用相同的速度运行。

SESM 的几个博士生买了 PC，以便于在家进行研究工作，我也决定每周在家呆一天左右。那时，Diane 有全职工作，我就有安静的地方来工作和见研究生，他们在我家前可以轻松找到停车位。几年后，我得出了结论：有个人电脑的研究生总是比那些用伯克利的 Unix 系统的要提前几个月毕业；当然，那些已婚和有孩子的学生也总是在最可能短的时间里毕业。

SAP 80 的开发与支持

Reitherman: 为何你要决定开发一个新的结构分析程序 SAP 80 来替代 SAP IV?

Wilson: 首先，我意识到在我的 PC 上开发程序可以比使用那时的其他计算机系统要快近十倍；其次，SAP IV 使用的数值方法和有限元是十年之前的技术。能够在家用我自己的个人电脑工作让我活力焕发。

1979 至 1980 年我的学术休假期间，每周我工作至少 60 小时，很享受这每一分钟。我把我的教学和研究程序 SMIS 修改为 PC 程序 CAL（计算机辅助教学）。而且，这是第一个只有框架单元的 SAP 80 版本，可以对小型结构进行地震动力响应分析。SAP 80 是一个全新的程序，基于新的、更精确的有限单元及快速数值方法，能够在便宜的 PC 上运行。我没有用 SAP 系列程序先前版本的任何代码。SAP 80 的 90% 是我自己在家里的办公室写的。因此，如果程序存在 bug，我知道该怪谁。当我把 SAP 80 推向市场时，任何人发现其中的错误，我觉得都应该酬谢他，因为他们正在帮助我。许多程序员和开发者都有人类不愿改变的元素；我必须承认，我是从年轻时一个很差的学生成长起来的，因此我犯过很多错；直到今日，如果在杂货店我与人发生轻微的相撞，我会立即说“对不起”，认为是自己的错；而有些人会立马认为是对方的错。

不到9月份，我就编写好了SAP 80的第一个版本，有一个大约100个程序使用者的用户群，这些用户需要技术支持，我就帮助他们建模；他们是小公司，设计的一般都是简单结构，以前都使用大型昂贵的计算机服务公司来做结构工程工作；我在家工作，并没有收高昂的费用。然而，他们给了我宝贵的反馈，告诉我程序需要哪些功能。还有几个国际用户，想要在他们自己国家销售和支持这个软件。我不知道如何解决这些问题。



Ed's license plate in 1980 indicated how proud he was of his new SAP program.

IBM 改变了 PC 世界

Wilson: 1981年，当IBM发布具有FORTRAN和由微软开发的DOS操作系统的个人电脑IBM 5150时，PC世界发生了重大改变。我的第一反应是，会比我的CPM系统更贵，而且5.25英寸磁盘也比我的8英寸容量小；因此，我没有立即对新的IBM PC感兴趣。然而，Ashraf Habibullah非常兴奋，声称：“IBM会销售数百万台这种电脑给那些没有Radio Shack电脑的大型结构工程公司。”IBM进入PC市场导致所有的小型PC公司要么开始克隆PC，要么倒闭。Ashraf开始把ETABS的最新版本转到DOS操作系统，向我提议成立一家叫“SAP”新的结构软件公司，我们将是平等的合伙人。

合伙关系的更改

Wilson: 对Ashraf提议的合伙关系考虑了几周后，我们决定：最佳方式是成立一个单独的SAP公司承担大部分研究工作，CSI将强化产品、用户支持和销售软件。这可以使我在伯克利继续担任教授，继续做与CSI无关的研究和咨询。在接下来的35年里，随着时间的改变，我们数次变更我们的版权协议，以使我们都满意。如果没有Ashraf和我之间的相互尊重与信任，这是不可能的。

个人电脑的快速发展

Wilson: 首次发布IBM PC后的数月内，用户就可以选购高速浮点芯片，这使得运算速度可以与CDC 6400相匹敌。而且，IBM增加了硬盘，这扩大了PC能求解的结构规模。但是，我没有买新的IBM电脑，既然我的CPM系统还能非常快地编译和校核FORTRAN程序。我把新的FORTRAN语句给了Ashraf去开发DOS版本的SAP 80，这样就可以上市了。有一天，我的一个博士生Pierre Leger到我办公室，说他刚买了一台AT&T的PC，比IBM快，只有一半价格\$2,200，这是由意大利Olivetti制造的PC。不用说，我立即买了两台——一台在学校的办公室，另一台放在家中的办公室。显然，摩尔定律如期起作用了。



The larger computer shown at the rear is an IBM P75 portable, made in 1991, the year Ed retired from teaching. It was the most expensive personal computer he ever purchased at \$15,000. However, over the next four years his productivity increased significantly because he could easily take it with him on vacation to Hawaii and his fishing trips to their mountain home.

The portable laptop PC shown in front of P75 was purchased in 2013 for less than \$1,000. However, compared to the P75 it is 1,000 times faster, has 1,000 times more storage, and users can watch movies in color and communicate with people all over the world.

Reitherman: 顺便说一句，在半月湾我有一栋简陋较小的老式乡村房子，Gordon Moore 在那里有一栋宅邸，上面的一些窗格是从我的那里取去的；我和 Moore 的房子同时由同一承包商进行翻修，Moore 想要一些老式的带波纹的玻璃。我们应当在这里解释一下摩尔定律，预测芯片中的晶体管数量会以指数增长，每 1.5 或 2 年翻倍，很好地解释了计算机设备及其容量的巨大增长。Moore 是 Intel 和 Fairchild 半导体公司的联合创始人，Fairchild 是一家计算机公司分拆的孵化器，有时也被称为 Fairchildren。Moore 就像你，成长于乡村海滨小镇 Pescadero，后来由于他对计算机的工作而对世界产生了重大影响。

Wilson: Gordon Moore 1950 年毕业于加大伯克利，获得化学学士学位，后来在其他大学完成研究生学习。在加大时，他住在 Cloyne Court，校园北边的学生合作社；1952 年我转到加大时，也在这里住。Gordon 和我每周都在中心厨房刷 3 小时的锅。几年后，当时合作社行政主管 George Proper 请我帮助对他们的建筑进行抗震加固，我被邀请在基金筹募活动开幕晚宴上做一个地震工程的演讲。演讲结束时，我捐赠了 \$1,000，作为基金募集活动的启动。几周后，George 告诉我说他给 Gordon Moore 打了电话，收到一张 \$100,000 的支票。

克莱德法则

Wilson: 2005 年，曾担任希捷公司高级研究副总裁和 CTO 的 Mark Kryder 预测，硬盘容每 13 个月会增加一倍。有关低速硬盘的价格，我最近花了不到 \$10 买了一块 32G 的存储卡，可以轻易地存贮我所有的文字、程序和照片。因此事实上，数据存贮没有任何成本。

Reitherman: 我们听说了超级计算机用于科学研究，研究大气层、恒星内部机制，甚至研究核爆的详细过程；但还没有听说过结构工程用超级计算机。

Wilson: 是的，没有用过，没有必要。结构工程没有太多的数据需要处理。现在的常规台式机就能够非常快地执行大多数分析，一个通宵就能求解出最难的分析。在我书 (Edward L. Wilson, *Static and Dynamic Analysis of Structures: A Physical Approach with Emphasis on Earthquake Engineering*, Computers and Structures, Inc. Berkeley (now Walnut Creek) California, first edition 1998.) 的封面有一幅当今世界最高的建筑图，就是在一台并不贵的 PC 上用 SAP2000 分析的。

大约在 2011 年，Intel 发布了 264 内存寻址能力的单芯片，而且现在可以用很低的价格买到多处理器的计算机，随着在个人电脑中增加处理器的数量，就成了超级计算机。50 年后的今天，执行工程计算的费用已经降低了一亿倍。

Fred Peteron

Wilson: Fred 是名非常杰出的程序员，而且编写的文档非常清晰。我们一同工作，而没有金钱往来，这是发生在计算机工业正从如 VAX 的多用户计算机向个人电脑转变期间；我为个人电脑开发的程序，也可以在大型机上运行，但反过来却不行。

我们发现做我自己的程序与做其他已开发的程序存在根本的区别，至少是在结构工程研究中。可以评估不同的数值方法，以获得求解问题最精确和最快的方法。Bob Tylor 和我都已 80 来岁了，但我们依旧在写程序。

第十二章

与 Ashraf Habibullah 和 Ed Wilson 的会谈

我听过你的课, Ed, 但没去拿学分。我怕如果我去你的计算机课拿学分, 会拉低我的毕业平均分!



Ashraf Habibullah and Ed Wilson at Ashraf's Computers and Structures, Inc. office in Walnut Creek, California, 2015.

来美国到伯克利学习

Reitherman: Ashraf, 说一说你怎么到伯克利并认识 Ed 的。

Habibullah: 我是 1969 年 1 月的冬季学期来到伯克利念研究生的, 那时大学还是学季制而非学期制。我听过你的课, Ed, 但没去拿学分。我怕如果我去你的计算机课拿学分, 会拉低我的毕业平均分! 一年后的 1970 年 12 月我就毕业了。

1969 年 12 月, 我从巴基斯坦来到美国, 在 Greenbrae 的 Marin 县的一个家庭短暂待了一段时间, 以通过学校对留学生的要求计划。有些奇怪, 因为我认为这家的家长想要我在家给他们的孩子一些对一个不发达国家的体验。但我 7 岁之前是在英国长大的, 这之后在巴基斯坦所受的教育都是在天主教学校, 高中是隶属于剑桥大学的, 我高中毕业考试是剑桥大学的入学考试。我的老师都对学生的英文会话能力要求甚高, 所以我的英文非常纯正。我去的时候, 我想寄宿家庭期望的是我甚至不会讲英语[笑]。

更糟的是, 因为我看起来擅长数学, 我父母都是数学专业的, 我的寄宿家庭有两个十多岁的孩子, 他们正在微积分上挣扎; 我已上过这门功课, 在学校里强调记忆力, 这样你只看

一眼问题就可以解决；我也教他们化学，这个经历与他们父母所期望的相背离。

他们对我进入加大极度震惊，后来我在伯克利扩展课程教授 Ed 的材料，他们更加吃惊。这家伙不是从不发达国家来的么？我一直与他们保持联系超过 20 年，直到他们去世。这个父亲在美国银行工作，退休后在勇士篮球队谋了一份差事，他可以带我去看勇士队的比赛，我对那些家伙在场上围追一个球，完全莫名其妙。

Ashraf 的第一份工作（与 Messinger 和 McClure 一起）

Habibullah: 回到我是如何认识 Ed 上来，那是我快要硕士毕业要出去工作的时候，我认识的 Ed。

我一获得伯克利的学位就出去找工作，1971 年 1 月从 McClure 和 Messinger 那里得到了一份工作。那是 1 月 28 日，我记得这个日期是因为几周后，2 月 9 日就发生了 San Fernando 地震。我的最后一门课是 Anil Chopra 教授的结构动力学，期终考试前两天在公寓我收到一封电报，要我给巴基斯坦的家里打电话；那个时期，不能拿起电话就拨海外号码，必须预定国际长途，几个小时后他们给你打回来，说电话已安排好了。我才知道我父亲刚去世了。我去找 Chopra 教授，告诉他我必须立即回家；Anil 说，你已经学得很好，尽管回去，他会给我一个 A 的成绩。

我都准备与母亲一起待在巴基斯坦了，但她说绝对不可以——你必须出去过好的生活——我们需要钱。后来我母亲从巴基斯坦移民到了美国。

我回到了美国，而不是待在巴基斯坦。我去对告诉 Chopra 教授说，我感觉现在可以参加他的考试了。我参加了考试，就是这个原因，我的成绩从 A 变成了 A-！[笑]

那时加州的失业率为 12%，我想不会有工作机会，我就根据地址去旧金山敲工程事务所的门。在大公司，秘书绝不会让你去与任何人谈话；我甚至都要起了花招，比如说我已经和某某合伙人有约，而此君却在 4 年之前已经过世了！[笑]我在想，为何这家公司的名称还有他的名字在上面！[笑]

在奥克兰的第 40 街和电报大道的拐角处，那里曾经是 Safeway 超市，穿过街道就有一部付费电话。我口袋里满是一角的硬币，打了很多电话。其中之一是打给 McClure 和 Messinger 的，Frank McClure 接的电话。当时，我的账户里只有 15 美金了，很是绝望，接下来的两周还要交 \$60 房租。他叫我两小时后过去。

当我来到 Frank 的办公室，他问：“你知道 Ed Wilson 教授吗？我们正在用他的一个程序 STC3DF 分析一个大型医院，我们遇到了难题。你听说过这个程序吗？”我回答道：“我当然了解这个程序。”但实际上，我根本不知道它是什么。这是一个静力程序，FRMSTC 的三维版本，是 Ian King 和 Ed 开发的。Frank 说他可以给我一份两周的工作，问我需要多少报酬，我就说一月 \$875。他拿起他的计算尺说：“就是每小时 \$4.76，你怎么得到这个数字的？”我告诉他这是我需要支付的账单金额。

我仍需要获得工作许可，因此我拿了图纸去校园找 Ed。

结识 Ed Wilson，为 Messinger 和 McClure 编程

Habibullah: Ed，你递给我三页纸的使用手册，告诉我下楼去计算中心，并告诉我去那里找谁谈；我就开始工作，晚上机时费便宜的时候使用校园计算中心。我的第一个工作日是 2 月 8 日，第二天就发生了 San Fernando 地震，公司的所有人都去了洛杉矶，我一个人在办公室里工作了 1 周到 10 天。我无法找出导致不平衡问题的错误在哪里，Ed 就给我指出错误所在。那个程序需要侧向力以从竖轴开始顺时针的角度来输入，然而我却用的是水平轴，逆时

针方向；我修正符号后，得到了正确结果。

当 McClure 和 Messinger 回来时看到我已经把所有事都搞好了，给他们留下了深刻印象。

Wilson: 顺便提一句，某些工程师拿我的 SAP IV 程序在 Cray 上编译后出售，挣了不少钱，他们从来没有回馈学校一分钱，当 NSF 取消在伯克利的现场测试计划时，我说：“不会再有免费的 FORTRAN 卡片了。”

Habibullah: 我告诉 McClure 和 Messinger 我有这个程序，不到半天时间，我就建好了模型并得到了检查后的结果。

他们在处理桩的时候遇到了难题，桩都是偏心的，在桩帽上存在许多的偏心，他们正对几百根桩逐一进行分析。我写了一个小程序，可以输入弯矩，可以考虑所有的效应，检查应力是否满足要求；那时他们决定留下我，为他们做所有的计算机工作。

Frank 从 San Fernando 地震带回大量数据，我们将其输入卡片，建立起数据库，并进行分析。这个工作以某种形式反映到了加州的“城市地质主控规划”报告中。

Reitherman: 那个研究反映了未来几十年由于地震、滑坡和其他灾害导致怎样的损失。记得我惊奇地发现，与地震损失几乎一般大的是城市发展的建筑覆盖导致的矿产资源损失。

Habibullah: 这些图都是由计算机打印出来的。

Reitherman: 当你在 McClure 和 Messinger 全职工作时，你是如何继续开发计算机程序的？



Left to right: Ed Wilson, Joe Penzien, Ashraf Habibullah, Alex Scordelis, and Graham Powell.

Habibullah: 1970 年底我毕业之后的两年里，我都返回校园，向一些教授请教，比如 Alex Scordelis 和 Frank Baron，就像我还坐在他们的课堂上一样，他们都表示同意。我也旁听过你的有限元课，Ed。那时 McClure 和 Messinger 都非常好，让我到伯克利去上那些早上 8 点的课程，然后我赶公交车回到奥克兰，10 点出现在公司，工作到夜里。我这样做了两年，期间遇到了 Jürgen Bathe，他正在开发 NONSAP；他在教伯克利的扩展课程，是有关 SAP IV 的基本知识，有些难。当我们认识的时候，他请我帮他测试 NONSAP；也是那时，认识了 Fred Peterson。

Wilson: Jürgen 的论文是有实质性的突破性，我让他把代码放入论文中，因为我知道自己的论文可以传播多远，它包含了人们可以用的东西。在商业和职业界，没有人共享自己的代码。

Habibullah: 当 SAP IV 发布时，没有图形。McClure 和 Messinger 接到一项包括一个巨型体育场馆设计的任务，我用了超过 1700 个单元来建模，但没办法看见结果，我就写了一个小程序去读取数据并绘图。

Wilson: 那时，只能得到一页打印的图。

Habibullah: 只能在 Palo Alto 打印，然后第二题早上运到奥克兰的办公室。如果出了错，只能再等 24 小时。我得到了非常漂亮的图纸，很有用。我突然想到，有上千的 SAP IV 用户，通过伯克利获得的程序，如果我有这份名单并联系他们，我敢肯定他们中有不少人会买这个图形软件。这是在 1974 年。在奥克兰 CDC 我买了一些晚上机时。

我的这个插件程序可以读取 SAP IV 的打孔卡，有 8 种单元，可以在坐标系中绘制整体结构。我设法获得了 SAP IV 的用户名单，向他们寄了一份信。在 6 周里我以 \$1,100 的价格卖了 150 份拷贝：我口袋里超过了 \$150,000，在 1974 年！在公司我的薪水是每月 \$1,600，那时我已离开 McClure 和 Messinger，在那里工作了三年半时间。1974 年秋天，我在 Ben Kacyra 的工程公司 Earthquake Engineering System 得到一份工作。同时，你给了我一门课教，Ed。我围绕 TABS 和 FRAME 2 构建了一门伯克利扩展课程——常规结构的静力与动力分析。

讲授伯克利的扩展课程

Habibullah: 我记得我与 Ed 讨论给伯克利扩展课程上课的事。Ed 那时是土木工程系的主席。我给他打电话，邀请一起进午餐；在成立计算机与结构 CSI 公司之前，我还在 Ben Kacyra 公司。我有一部小车，是很早的本田，500cc，两缸。我带着 Ed 到 Solomon Grundy 餐厅（现在是 Skates），我在想 Ed 不会让我教这门课的，用我这部廉价的小车载他去吃饭，他是如此的高大，要蜷缩坐在车里。我对自己的车很担忧，但同时我今后可以夸耀“我载 Ed Wilson 去吃过饭”。你必须意识到，Bob，Ed 是一个超级明星，这个人创造了所有的这些程序，这是结构工程领域应用计算机的开端。因此，我是非常之幸运。

我给扩展部的 Nanette Pike 打电话得知，有 187 人登记了我的课，通常这类课只有 30 来人选。他们把我的课移到 Dwinelle Hall 的一个大教室。当我在第一个周三晚上走进教室的时候——发现自己从来没讲过课——下面是人海，我都呆住了。我把黑板擦了足有十分钟，才转过身来面对大家；更糟糕的是，前排有几个工程师担任过加州工程师协会的主席！不知怎地，听众逐渐接受了我的授课，非常清晰，我教这门课达 14 年之久。

Reitherman: 你采用什么方式教的？板书和影印讲义？

Habibullah: 是的，不是幻灯片。我仔细地准备了漂亮的手写讲义。上课的工程师可以接下来与我一起做计算分析。我突然想到，应当只集中精力对其他工程师进行咨询。

开创 CSI

Reitherman: 这是 CSI 开始的时候？

Habibullah: 我的第一家公司的名称实际上是 Computers/Structures International，我想使用“计算机”和“结构”这两个词，但那时有家英国的杂志叫这个名字，我不知道使用相同名称是否合法；我不想叫“Habibullah and Associates”。1980 年，我开了这家公司，为个人所有。我写信给加州秘书长询问是否可以采用“Computers and Structures Inc.”作为公司名字，答复是可以。我记得朋友们都说，“你在干什么？你会饿死街头的。”我并不在乎。他们讲我一定是在做蠢事。

当我决定开办 CSI 时，就去寻找办公地点；那时，正值 McClure and Messinger 发生变

动, Frank 已决定去大学里就职, 当时他们正在对建筑进行大震研究, 他可以从中获得津贴。Dave 致电给我, 说我可以借用 Frank 以前的办公室, 一个月\$175, 还能用他的秘书。在开办 CSI 的整个过程中我都没有贷一分钱; 我需要一些家具, 就到奥克兰的救助场所买了一张从卡车摔下来的桌子, 我知道如果靠墙摆放, 是看不出摔坏的侧面。我母亲和我一起住, 她告诉我应该有一把新椅子坐, 她就带我去到 Richmond 的 Montgomery Ward 百货店, 我们买了一把新椅子。1980 年我搬到 SSD (Structural Software Development) 之前, 我都在 Dave Messing 的地方办公, Jeff Hollings 也在 SSD, 这是一家大公司, 位于伯克利的 Shattuck 1980 号, 我要付费使用他们的主机。

Reitherman: 同 Frank McClure 工作的情形是怎样的? 我是在国家研究委员会认识他的, 他在为其中的地震损失预测小组工作, 他极其生硬。

Habibullah: Frank 的要求很高, 要求自己的员工做得最好, 但是也会不吝惜自己的时间与帮助。我开始为 Frank 工作时, 还没有美国身份, 为了申请到, 我需要写一篇短文; 我就写了一篇, 交给 Frank 检查。他说文章写得不对: “我们在美国不会这样做, 或不会那样做” 他花了几天的时间, 完全替我重写。他为我做了许多。

Reitherman: 他经常参加 EERI 的年会, 在开放时间, 他站在听众席的前面提问题, 或许更像是他在要答案。你还记得这些吗?

Habibullah: 不记得, 因为早些年间 EERI 是个封闭的俱乐部, 会员是邀请制的, 我还不是会员。但, 我的确记得他对我的商业计划不感兴趣——他认为只有大学的教授和学生才去开发软件, 而且这里面没有钱可挣, 这在当时是对的。

Wilson: Clough 和我都认为我们必须把程序从大学向工程实践扩散, 可以从执业工程师那里学到许多东西。但, 并非每个人都这样做。

Habibullah: Frank 对计算机工业没有兴趣, 我就到旧金山的 Earthquake Engineering System 去工作。当我看到核工业在利用计算机做复杂事情的时候, 我意识到我懂得的东西与他们一样多, 或许还超过他们。如果 Frank 说可以的话, CSI 就会是 Frank 的了。十年之后, 1984 年在旧金山的 Fairmont 酒店召开了世界地震工程大会, 我们在展览区有一个小的演示位; 我看到 McClure 向我走来, 手里拿着一本小红皮书, 那是 ETABS 第一版的使用手册; 他要我在上面签名, Frank McClure 要我的签名! 随后, 他夸赞了我在个人电脑上做的事, 他接着说, 他在职业生涯中犯过的所有错误里, 最大的就是: 我去向他提出共同做软件生意时, 他拒绝了我。

我做的事情其实都很简单, 人们有这样的需求罢了。我在 ETABS 中增加了对分析结果的自动应力校核, 显然这节省了设计时间。我以\$25,000 一套进行销售。就是那个时间, 我能够开始向大学捐钱给 Ed。Ed 和我一起进了午餐, 他拿根铅笔就写了几行代码就做出了 P-delta 分析。工程师花钱买软件来节约时间是相当值得的一件事。

Reitherman: 看起来你们俩都强调了解和与工程师交流的重要性。

Habibullah: 从在 Messinger and McClure 三年半的工作当中, 我了解到了什么是设计公司的工作瓶颈。通向工程公司上层的大门是敞开着。讲授伯克利扩展课程, 我获得了自信, 因

为我看到所有那些工程师大碗坐在下面急切想学到我所讲的内容。

SAP 80

Habibullah: 当 Ed 开发出一个全新的 SAP 80 程序时，他找到我，让我给其添加图形和其他功能，并市场化。

Wilson: SAP 80 是一个彻头彻尾的新程序，与学校没有任何关系。

Habibullah: 我们在 1981 年建立了一家称为 SAP Inc. 的公司，我们各占一半。我们开始挣钱的时候，我们就发现：我想花掉所有的钱在增强产品上，而 Ed 想要把钱攒起来，所以我就继续做 CSI，我们将受益对半分，每个人都能将钱花在想要花的地方。

Wilson: 当 Radio Shack 桌面个人电脑一面世，Ashraf 就买了一台，并意识到这就是未来。我们都发现技术发展都是对我们极大的激励。那时 CPM 还是一个巨型操作系统，但只是持续到 IBM PC 的出现，IBM PC 使用的是微软 DOS 操作系统。

Habibullah: 还记得我们在这里的 Marriott 酒店举办的 PC 研讨会吗？我们告诉大家说，我们软件的价格是\$2,500，但现在以\$1,000 的价格卖给大家。那天下午，我们回到家，口袋里有 6 万美金！美妙极了。

Wilson: 我们比其他任何人都要领先一大步。

国际拓展

Habibullah: IBM PC 为我们打开了国际市场，发展中国家也可以买得起电脑。拉丁美洲、亚洲等地都有大震问题，但他们买不起大型机，现在他们可以获得电脑了。我们的软件如同野火燎原一般在这些国家被采用。我去到泰国、墨西哥等地，我对他们讲“正是你们给予了 CSI 巨大的推动”。

Reitherman: 除了个人电脑增加了“马力”、存贮量，以及可以从电脑说明书上读到的其他改进外，它导致对工程界的最大改变是什么？是否是迭代能力更快？可以检验我们的假定并做出设计变更，而不是每天来来回回跑大型机房。

Habibullah: 工程师可以多次运行程序，因为不用付机时费。我在 Fred Peterson 那里工作的时候，我们用大型机，咨询项目有严格的机时费用预算。每运行一次可能是\$500 或更多，十次就\$5,000，还没算存贮费用，那时是个大数目。我记得有一次我把一个文件留在存储器上了，6 周后我们收到了一份\$15,000 的账单。公司和员工运行大型计算机设备是在与个人电脑潮流相对抗，这违背了他们的经济利益。但在贫困国家，他们没有大型电脑，就能够快速采用 PC 和我们的软件。

Reitherman: 这听起来与发展中国家手机普及类似，他们本来就欠缺电话线路基础设施，直接跳跃到了手机时代。

Wilson: 1980年代早期我去中国时，美国国防部不允许 Control Data 公司在那里出售其大型计算机。我告诉中国人：你们很幸运，那些设备将很快被淘汰，跳过这步，个人电脑是未来。

Reitherman: 你谈到中国的软件，这令人想到盗版的事。

Habibullah: 我们软件被盗版和再售的数量是巨大的。你也许会奇怪我认为盗版也带来了某些有利的东西；我们软件具有如此大的市场，部分原因就来自于此。地下市场培养了市场，每个人都知道了我们的程序，这些程序成了标准。我不能确切地告诉你有我们软件各个版本共有多少数量的盗版。

Reitherman: 你对正版与盗版的比例有估计吗？

Habibullah: 我猜比例为 1:100，或者是 1:1000。如果你搜索一下“SAP2000 cracked”，能得到 50 页的结果。我们正在关注我们软件的加密方法以防止盗版，我们想用自己的加密技术。现在是从第三方购买的，如果有人破解了他们的方法，就可以进入其他公司的大量程序。如果我们的保护技术只是 CSI 用，花时间去破解就没有价值了，因为他们只能得到一个产品，而不是成百上千的产品。我认为我们正在进行的一些保护措施会对销售有大幅度的增加。

我们在发展中国家有不同的价格体系，我们曾经在全球采用同样的价格。有一年我去南非做报告，我知道一栋大型建筑是用 ETABS 设计的。作为大会的主讲嘉宾，我请正在用 ETABS 的人举手，只有 5 人举手。但我去过市场，看到货摊出售各种盗版电影的 DVD，甚至有还没发行的电影拷贝卖。立在这些电影之中就是 SAP2000 的 CD，我买了 5 张，因为包装比 CSI 的还好，有一本使用手册，封面是金色浮雕，很漂亮。

我告诉大会的工程师，我们的价格是\$15,000；如果在我明晚离开之前买，我会以\$1,500 给你们。我们回到家，口袋里装着\$600,000。我意识到我们必须改变定价，如果超出了能负担的极限，人们就不会买。

我们现在有个公式，一个具有五年工作经验的工程师两个月的薪水就是软件的价格。在美国，工程师每月能挣\$5,000，因此我们就卖\$10,000；某地工程师每月挣\$500，我们就卖\$1,000。当然，这个规则被打破了，国际化公司在一个国家买，却在另一个国家用，诸如此类。

Wilson: 但如果他们用我们软件的盗版也强过用一些低水平的软件，这对世界更有好处。

Habibullah: 人们只会盗版高质量的东西，这是一句带有讽刺意味的恭维话。盗版也算市场份额，如果有人用了你的产品，就不会用其他人的，这是一个很大的附加额，他们彼此培训，巩固了我们的产品。

下一步是什么

Reitherman: 回头看，Wilson 和 Ashraf 是完美的组合。谁可以替换 Wilson 或者 Ashraf 能够使结果如此精彩？如果你们在其他领域有兴趣，比如混凝土或钢结构设计，那里已经有了一大批高水平的教授和工程师。但在这个特定的结构工程软件领域，你俩是独一无二的。

Wilson: 用 PC，我们不需要给源代码，只是可执行版本，因为他们可以在同样的操作系统上运行，不像早些时候你需要 FORTRAN 来跨不同的操作系统。现在的收入靠技术支持。

Habibullah: 我们改变了每个产品的维护费用。用户每年支付新产品 20% 的费用就可以获得免费升级和免费的支持。经过一段时间，这成了收入的主要来源。

Reitherman: BIM（建筑信息模型）怎么样？

Habibullah: 我们正在与大量的建模产品进行集成，比如 Revit 和 Tekla。整个的 BIM 浪潮来源于航空业，制造商要做所有事情——设计、建造和维护。在结构工程领域中，存在大量用于施工行业的操作过程，很难标准化。

Reitherman: 对于建筑的非结构构件，你有想过用软件进行设计和分析吗？或者是对其进行抗震性能预测？

Habibullah: 在地震中最大量的财产损失来自于此。对结构工程师来说，这是一个很好的机会，如果能检查整个建筑，并对所有的潜在地震损失进行评估。这正是我们现在所考虑的问题之一。Ed 和我已经讨论过那些美妙的激动人心的为结构工程师开发软件的早期时代，但当下的时代也是令人激动的。现在，我正在思考今后五到十年那些真正伟大的东西。

Reitherman: 不用太具体说一下 CSI 的产品会在今后五到十年会有什么出现？是为越来越多的建筑和结构所应用的软件吗？

Habibullah: 即使在明年，我们的桥梁产品就会扩展到整个桥梁设计市场，在软件形式上，桥梁设计比建筑设计市场要大得多，因为桥梁设计师可以花费更多在软件上。走入工程师的会议，就会看到这点。设计建筑的结构工程师，是在为建筑师做咨询，报酬是建筑师的零头，还在要求我们打折；桥梁工程师却说，具有这么多惊奇的功能，为何如此便宜？桥梁通常是由政府机构设计，如果他们在工作上省钱，这些钱也不能落入自己口袋，成本和节省都是属于公众的。大部分建筑设计师通常是小型公司，由运营的工程师所拥有，要支付账单，取得利润，还要为软件付费。我们也开发了一个全新的对所有类型的管道设计系统——核电站、石化、工厂——一个非常大的市场。

CSI 如何建立善意

Reitherman: 在 EERI 年会上，当你见到这些“孩子”，那些 17 至 21 岁左右本科生的年轻人，我们未来的工程师，已经用你的软件去分析他们参加振动台测试比赛的轻质木结构建筑，你是否感受到温暖？

Habibullah: 我刚去了多米尼加共和国，有 1700 人参加了我的性能化设计研讨会，大部分是年轻的学生，我从他们那里得到了热烈的欢迎。我们花费了大量资金在年轻学生参与的各种聚会和研讨会上，我们给予了全球上千所高校的学生免费软件用于学习，我们从 Ed 开始这样做的那一天就这样做了，我们继承了 this 传统。当年的年轻学生今天也在运营工程公司了，他们对我们完全忠诚。例如，我们在转到 Windows 系统的时候花了一段时间，我们的客户就等待；某些客户可能迷失了，去尝试那些市场初期的其他产品，但他们还是回来与我们在一起。

Reitherman: 在产品升级或变更方面，你是否从执业工程师那里得到建议？

Habibullah: 我们非常留意我们的客户。他们使用我们的用户支持系统时，他们会抱怨这个功能或那个功能，所有这些都记录在数据库系统中，我们用来改进我们的产品。我们会判断哪个花的时间长，哪个更好或更不好。因为我们听取了客户的意见，所以去改进产品，这非常简单。我们也发明了他们不知道的东西，但的确满足了他们的实际需求。

Wilson: 有时工程师想要的是如此琐碎，也许花 5 分钟编程就实现了。SAP 80 的第一个版本里，我计算了建筑的用钢量。不久，一个我认识的工程师来见我说：“谢谢你，我们一直都靠手算，真是幸事。”在不同的国家，劳动力与材料的相对价格是不一样的；美国的劳动力通常较贵，而材料便宜，但在贫困国家，情形相反。工程师在做分析时就能计算出造价来。

Habibullah: 有一位年轻的女生来对我说，她记得十年前我到访过斯坦福，我在那里停留了 2 小时，十年之后她仍然记得。人与人之间的交流是非常重要的，人们也许记不得你所说的话，但他们永远不会忘记你给他们的感受。我们不仅是让人们记住我们的名字，我认为我们发出了许多的善意。我们大量赞助了各种结构工程师协会的会议，我们也赞助了 EERI；我们做了其他公司没有做过的事，比如我们租用旧金山的市政厅每年都举办 CSI Party。一个人需要多少钱？如何支配自己的钱？留在银行？死后留给某人，让他以 2 倍的速度花完？因为他不是靠艰苦工作来挣到的这些钱。不，现在就花，存着适当的钱，把钱花在当下，比如盛大的旧金山聚会。现在就花，把它用掉。我会在一次工程会议上发出 20 部 iPad，在获奖者登台领奖时，有时我会穿着我的闪光夹克，同时高歌一曲，这会给人留下很深的记忆。

Reitherman: 每个受邀参加你的年度聚会的人都说：“这是我一生的聚会。”Ed 和我对比了早期有关美好经历的笔记——盛满各种食物和酒水饮料，娱乐节目，更不用提作为主持人的你，穿着灯光闪亮的夹克。

Habibullah: 每个参加完聚会的人都对 CSI 抱有良好的感受，这是难以计算的价值。从一开始就把 Ed 的名字与 CSI 联系在一起是非常重要的，这赋予了公司以信用。在我们的年度聚会上，一直持续 8 个小时，在市政厅的每个人都过得非常愉快。



*Left to right, at the 2014 CSI party at San Francisco City Hall:
Doug Clough (Ray Clough's son); Diane Wilson; Ashraf Habibullah;
Linda Clough (Doug Clough's wife); and Ed Wilson.*

Reitherman: 8 小时的欢乐乘以多少人？

Habibullah: 2015 年有 1,600 人参加。

Reitherman: 让我算一下，就是 12,800 人时的欢乐，这么多啊。

Habibullah: 今天我就收到一位女士的信，她说当我在她的大学演讲时，就获得了激励，并改变了她的生活，这是一件激励的事，而非无趣的事。两年后我就满 70 岁了，但我觉得比 20 岁时还要好。我那时超重。

Wilson: 那时你也没有如此的自信，你很害羞。

Reitherman: 而且你并不喜欢计算机[笑]。我不懂有关结构工程软件的所有技术特征，但我看起来是——不像你俩前面所描述的，在大学里完成工作就成了流行产品——今天大部分软件都是在大学之外产生的。NSF 花了数百万在 NEES (Network for Earthquake Engineering Simulation) 的信息技术上，提供远程协作的 IT 工具，比如不同地方研究者的远程会议系统，但是大部分研究者还是采用现成的商业产品，Cisco 的 WebEx。

Habibullah: 有时，有教授对我讲：“我们的作用到底在哪里？”CSI 做研究，大学也做研究，但是 CSI 的工作必须要在下一个版本实现，出现在工程师的桌面上。我们的工作背后是需求，这也激励我们。我们有杰出的员工，能够做超越他们在学校时的研究。我聘请了正确的人，可以给他们难题并很快得到答案。

Reitherman: 为什么在 1960 至 1980 年代，像伯克利这样的大学能够产生如此众多的重要程序，但今日却看不到了？

Habibullah: 一个因素是，钱依旧是极其重要的。有一次我在工程师的会议上讲，我不了解你的情况，但我在这个领域是挣钱的；有反对之声，因为存在这样一种观念，工程师只是做好事，而不顾及报酬。我告诉他们，我认为如果你有额外的钱，你会更好地服务这个世界。钱重要吗？我不想处于还担心自己能挣多少钱这样的困境中。这就是我有现金在手的原因。我们所有的开发都是付过费的，我们不欠任何人任何东西。在 CSI 的 40 年间，在收入下降时，我们从来没有向任何人请求减少费用支出，我们也从没有因为缺钱而解雇过任何一个员工。公司给予员工工作保障，这需要钱。2008 年次贷危机时，我们用免费贷款帮助了一些员工。这建立了忠诚，忠诚是挣来的，不是要求得到的。我们的大量员工都是在 CSI 工作了相当长时间，然而，大量的软件开发企业的开发人员待的时间大概就两三年，就去其他地方。举个例子，我们分管所有销售的联络主管，她的 MBA 学费就是公司支付的。

钱买不到所有东西，但没有钱就会导致大量悲剧。我曾经穷过，我绝不想再穷；我曾经肥胖过，我绝不想再胖[笑]。富有和苗条更好[笑]。金钱和健康是两件基本的东西。

Wilson: 我有一辆 44 年的老车，这就是我需要的。Diane 和我仍然生活在原来的房子里。有关健康的话题，我意识到钱并不能解决我们女儿的精神迟滞问题。我认为，在我们的一生中，Ashraf 和我已经做了我们感兴趣的事情，这使得我们挣了钱。我们并非把挣钱放在考虑的首要位置。



SAP2000 v20

- 增加关于收缩、徐变以及刚度随时间变化的规范
- 对于线性和非线性直接积分时程分析，提供附加模态阻尼选项，可以使结果更逼真且相对保守
- 基于Eurocode 2-2004 显示楼板开裂宽度

[点击了解更多新特性](#)



CiSApps for SAP2000 v20

- 新增“结果后处理”工具；
- 新增“自动蒙皮”工具；

STRUCTURAL DESIGN OF STEEL CONNECTIONS AND JOINTS

全新打造的钢结构节点设计软件

Calculate yesterday's estimates

The image is a dark-themed banner for IDEA StatiCa. It features the text 'STRUCTURAL DESIGN OF STEEL CONNECTIONS AND JOINTS' at the top. Below that is the large Chinese text '全新打造的钢结构节点设计软件'. At the bottom, there is the IDEA StatiCa logo and the Chinese characters '筑信达'.

全新打造的钢结构节点设计软件 **IDEA**，既可以快速创建各种复杂的钢结构节点模型，也可以直接导入各种 CAD/CAE 软件中的几何和荷载信息。

在此基础上，IDEA 可完成针对钢结构节点的应力/应变分析、屈曲分析以及刚度分析，同时还可以根据美标或欧标对焊缝和螺栓进行全面校核并输出详尽的计算报告。

联络我们申请14天免费试用激活码。

视频介绍: [2分钟快速了解 IDEA StatiCa Steel](#)

[Link between SAP2000 and IDEA](#)

[IDEA 网络课堂第 1 期](#)

[IDEA 网络课堂第 2 期](#)

筑信达受邀参与第十届边坡工程技术大会

第十届全国边坡工程技术大会，由中国建筑学会工程勘察分会主办，于4月19-22日在成都召开，参会人数约280人。筑信达岩土产品销售经理张伟和Plaxis技术支持工程师王旭刚受邀参与。

本次大会特邀北京市勘察设计研究院孙立超做专题报告：Plaxis在边坡工程中的应用。



SAP2000/ETABS 技术宣讲会重庆站成功举办

筑信达联合华中区域代理商武汉百思通科技有限公司，于5月9日在重庆举办CSI结构系列软件技术宣讲会。筑信达技术咨询部高级客户经理魏旭豪与现场30余位工程师分享了ETABS/SAP2000新功能、ETABS多高层结构分析设计等主题，并就结构建模、模型转换和模型导入后的检查和调整等问题作了充分交流。

本次交流会更进一步加深了工程师对SAP2000和ETABS的认识，提高了工程师对软件基本实现原理的掌握程度，解决了软件使用过程中部分常见问题。工程师给出了提高软件易用性方面的意见和建议，为筑信达后期的开发工作提供了参考。

6月三站——江浙沪地区 ETABS/SAP2000 技术沙龙

值SAP2000 V20中文版发布之际，筑信达联合华东区域代理商上海江图科技有限公司，面向江浙沪地区总工、副总工、技术经理、主任工程师组织的ETABS/SAP2000技术沙龙，于6月12~14日，分别在南京、杭州和上海如期举办。本次沙龙除了新产品、新功能的介绍外，以讨论的方式，就不同软件间的模型转换、抗震弹塑性分析、减隔震分析和欧美规范应用做了深入交流。

与以往的技术交流会不同，本次技术沙龙增加了讨论环节所占的比重，在交流的环节根据工程师的问题调整内容的侧重点，现场讨论氛围热烈，参会工程师与讲师充分表达了对不同问题的看法和观点，共同提高了对相关问题的认识。现场收集并回复了工程师问卷中反馈的相关问题，解决了大家使用软件中的困扰，提高了软件的应用水平。

筑信达逐步加大投入，以客户需求为出发点，正在并持续开发多款实用工具，旨在提高软件的易用性，减少工程师工作量，为大家提供更优质的产品及服务。



征稿启事



如果你使用过我们的产品
如果你喜爱工程分析

或许你正困惑其中
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

(请注明“技术通讯”投稿)

期待与你的相识!

你是我的菜



CSI BRIDGE

SAP 2000

ETABS

SAFE

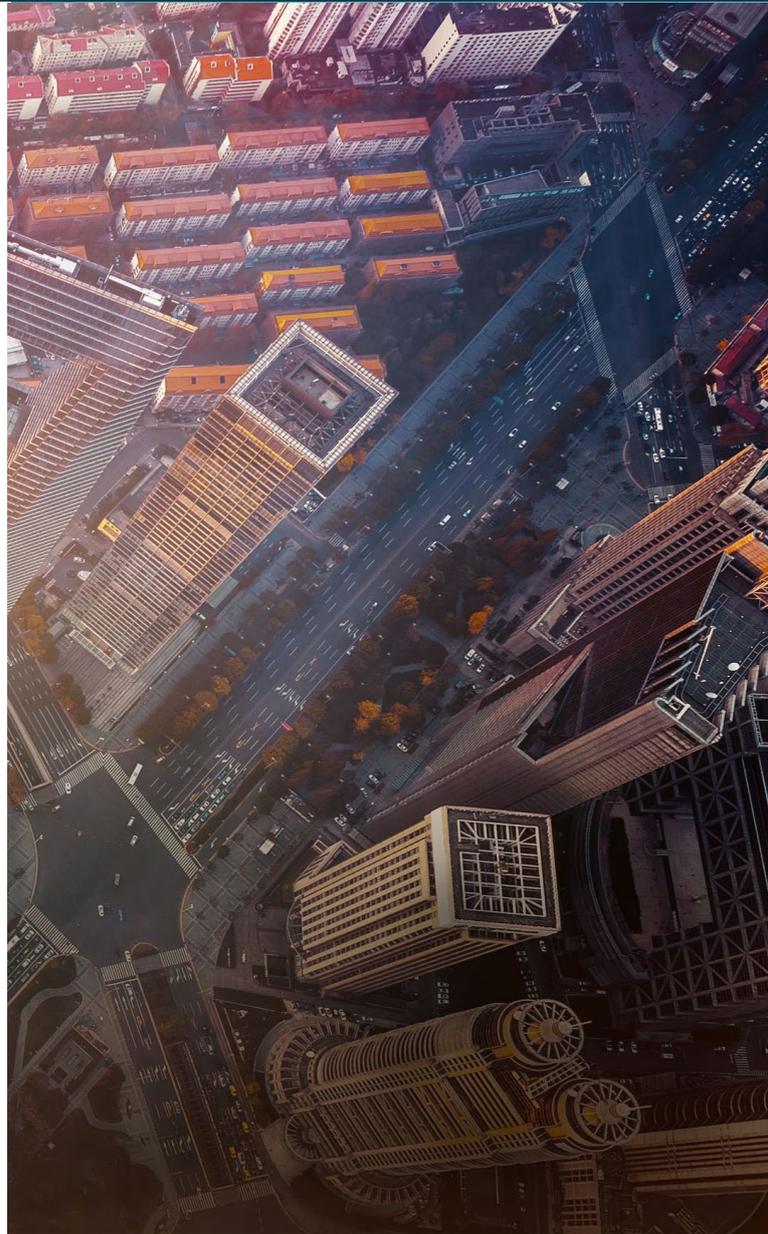
PERFORM 3D

PLAXIS

CiSDesigner

CiSGTCAD

CiSModelCenter



在线支持
support.cisec.cn



网络课堂
www.cisec.cn



知识库
wiki.cisec.cn



视频教程
i.youku.com/bjcisec