

筑信达

技术通讯

第 20 期

2021 年 12 月

Vol.5 No.4

www.cisec.cn



五周年特刊已发布
请联系各区域代理商获取

- 楼板体系分析设计软件 SAFE 的几个特色功能
- 桥梁自动抗震设计中的 Pushover 分析
- SAP2000API 二次开发 -Python 示例
- IDEA 与 ABAQUS 钢结构节点有限元分析对比
- 工程应用常见问题案例解析



主 办：北京筑信达工程咨询有限公司

主 编：李 立

责任编辑：张志国、吴文博

美 编：张翠莲、王 蓉

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)

筑信达武汉技术中心

地址：武汉市洪山区武珞路 717 号兆富国际 1308 室

技术热线：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

C 目 录 Content

— 专题文章 —



楼板体系分析设计软件 SAFE 的几个特色功能 1
桥梁自动抗震设计中的 Pushover 分析 7



SAP2000API 二次开发 -Python 示例 14



IDEA 与 ABAQUS 钢结构节点有限元分析对比 24



地下水渗流的边界条件 27

— 工程应用常见问题案例解析 —

壳单元的应力平均化 31
钢构件稳定验算不通过 34
钢构件宽厚比验算不通过 36
桁架下弦主弯矩异常 39
钢塔应力异常 42
深基坑的地下水设置 44
新奥法隧道开挖提示不收敛 46

新版发布 48

活动报道 50

征稿启事 55

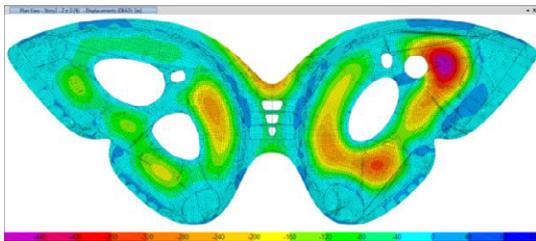


楼板体系分析设计软件 SAFE 的几个特色功能

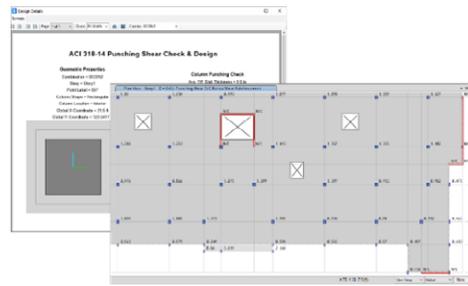
筑信达 刘慧璇 郑翔

SAFE 是一款全面的楼板和基础系统分析设计软件，可以完成快速创建模型、有限元分析和基于国内外规范的结构设计。它能够快速高效地实现混凝土楼板或组合楼板的建模，在整体模型中考虑开洞、托板、后张法预应力、伸缩缝、单压地基土等特殊属性，将分析、设计与建模完美集成在一起，提供全面的基于所选设计规范的梁弯剪扭设计、板弯剪、冲切验算等，生成详尽的计算报告书和全套的施工详图。

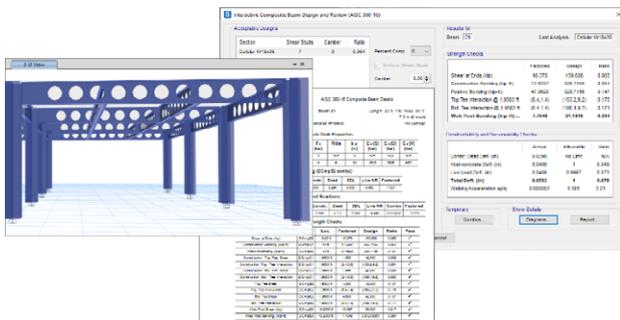
随着四十多年的发展，它从早期的原创性开发和独创的数值求解技术，逐渐增加了一些复杂的计算分析功能，比如更精确的壳单元、更复杂的自动有限元网格划分、考虑收缩徐变的开裂分析以及最新的设计规范。SAFE 可以独立地运用，也可以与 ETABS、SAP2000、AutoCAD 交互使用，完成整体模型中楼板和基础体系的分析和设计。



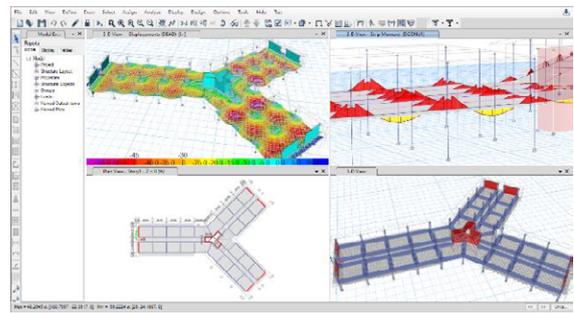
(a) 复杂形状对象的自动有限元网格划分



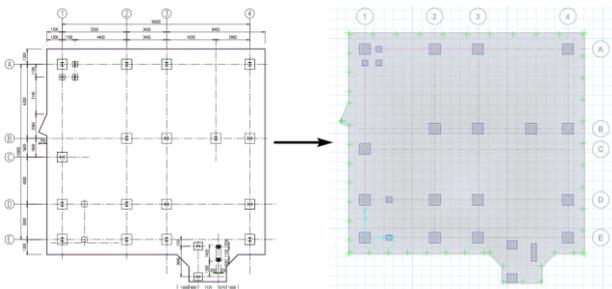
(b) 冲切验算



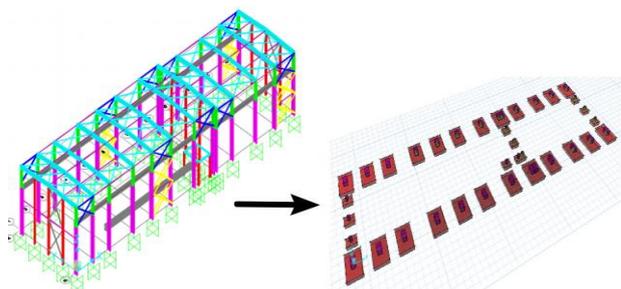
(c) 组合梁设计



(d) 基于设计板带的楼板分析与设计



(e) CAD 导入 SAFE



(d) SAP2000 导入 SAFE

图 1 SAFE 工程案例展示

本文主要摘选了 SAFE 的几个特色功能进行重点介绍。

1. 活荷载不利布置

根据《高层建筑混凝土结构技术规程》5.1.8，高层建筑结构内力计算中，当楼面活荷载大于 4kN/m^2 时，应考虑楼面活荷载不利布置引起的结构内力的增大。此外，一些大跨钢结构、多层工业建筑设计时也需要考虑活荷载不利布置。SAFE 软件提供了便捷的方法可以自动实现活荷载不利布置。



SAFE 中可根据轴网和板块来自动划分考虑活荷载的不利布置的区域，自动将满布的活荷载转换为每个区格单独施加的活荷载，最终通过特定的内力组合方式得到考虑活荷载最不利布置时的构件内力。图 2 给出的示例中，先定义“活荷载”和“自动样式活荷载”两个荷载模式（图 2a），在活荷载模式下施加所有楼面活荷载，程序将基于轴网自动划分板块（图 2b），自动生成分别在每个板块中布置样式活荷载的多步静力工况（图 2c）。

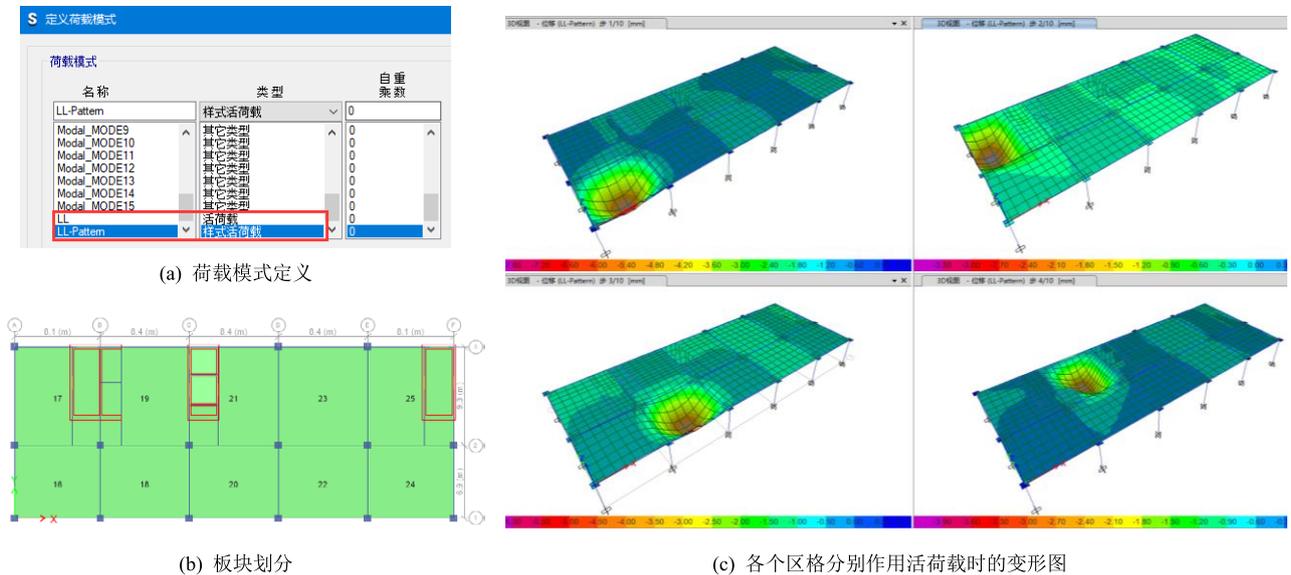


图 2 自动活荷载不利布置示例

构件设计时将生成对应的荷载组合，该组合对各类样式活荷载进行同号相加（Range Add）^[1]，从而考虑活荷载的不利布置效果。如图 3，查看示例中梁 B100 的设计内力，在考虑满布活荷载的荷载组合 1.3DL+1.5LL 下其弯矩值为 364.6137kN·m，样式活荷载参与的荷载组合 1.3DL+1.5LL-Pattern 下弯矩值为 407.0447 kN·m，说明样式活荷载可以考虑活荷载最不利布置的影响，得到更安全的设计结果。

Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station m	P kN	V2 kN	V3 kN	T kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m	Element
B100	1.3DL+1.5LL	Combination		4.2	-11.2629	15.6022	-0.2042	-5.2269	-0.1378	364.6137	B100-6
B100	1.3DL+1.5LL-Pattern	Combination	Max	4.2	19.6111	36.1631	0.2513	-1.177	0.1787	407.0447	B100-6
B100	1.3DL+1.5LL-Pattern	Combination	Min	4.2	-26.7601	-18.8323	-0.5727	-6.2007	-0.4071	116.2767	B100-6

图 3 梁 B100 的内力

2. T 形截面考虑翼缘的有利作用

SAFE 除了可以通过放大矩形梁惯性矩来考虑楼板对梁的刚度贡献之外，也可以通过直接定义 T 形截面的方式（图 4）考虑楼板对梁的刚度贡献。采用这种方式建立的楼盖模型，可以不用放大梁的刚度，程序会按照 T 形截面的惯性矩进行结构分析。同时，为了避免在整体模型中，T 形梁翼缘和楼板重叠区域质量的重复计算，可勾选“忽略翼缘计算面积、重量和质量”按钮，程序会在结构分析时自动将 T 形梁的翼缘重叠区域质量扣除。

在设计阶段，程序会根据 T 形截面对梁进行配筋设计（图 5）。若梁承受正弯矩，由于 T 形梁翼缘处于受压区，使得中和轴上移，计算配筋较矩形截面更少；若梁承受负弯矩，由于 T 形梁翼缘处于受拉

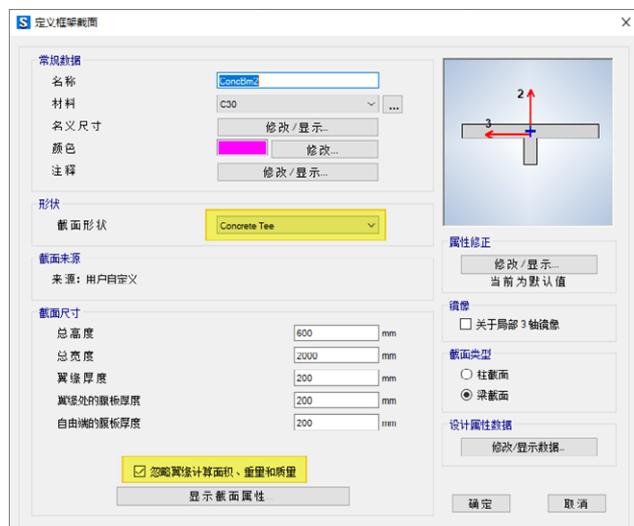


图 4 T 形截面定义



区，则对配筋结果往往无影响。

某框架结构分别采用放大梁刚度的矩形截面和 T 形截面进行分析，选取同一位置的梁查看内力及配筋。从图 6、图 7 可以看出：矩形截面和 T 形截面的弯矩数值接近；右侧梁端负弯矩处配筋值接近；梁跨中正弯矩处配筋相差很大。因为梁端翼缘处于受拉区，对配筋结果往往无影响；梁跨中翼缘处于受压区，T 形截面翼缘有利作用较明显，使得配筋减少。

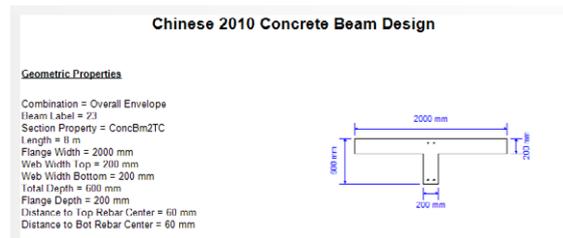


图 5 T 形截面配筋简图

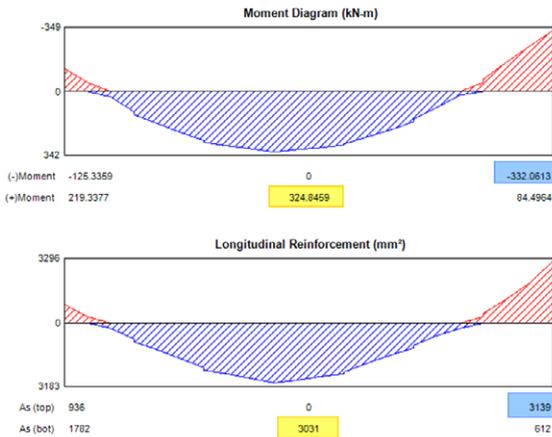


图 6 矩形截面弯矩图和配筋图

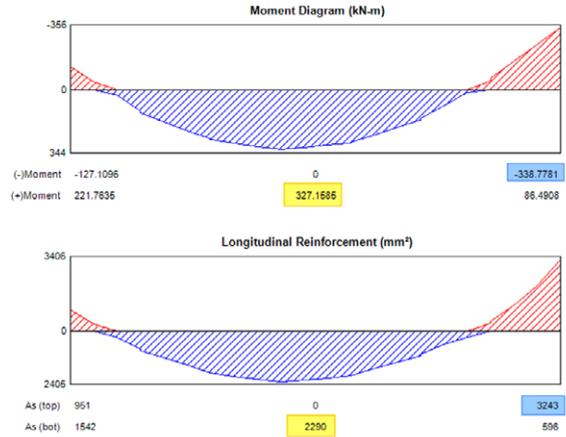


图 7 T 形截面弯矩图和配筋图

3. 非线性分析

3.1 地基土模拟

SAFE 中可通过对基础指定单压面弹簧（图 8），设置非线性分析工况（图 9）来模拟基础的上抬。SAFE 采用原始刚度 and 修正后的荷载向量迭代的方法，得到基础的零应力区，从而实现模拟地基土只承受压力的效果。



图 8 单压弹簧设置

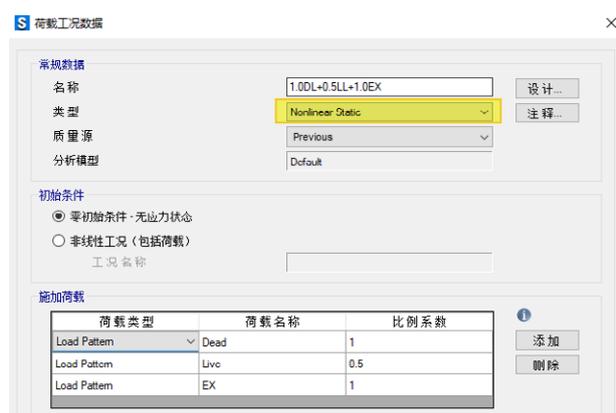


图 9 非线性工况设置

需要注意的是，因为非线性分析的结果不能进行线性组合，所以 SAFE 需要对组合工况而不是对单工况输出上述非线性分析结果，即考虑地基土单压属性的结果需要在某个组合工况下进行查看。

例如：某放置于地基土上承受恒载和侧向风荷载作用的筏板基础模型，图 10 为计算得到的线性分析地基土压力分布图，图 11 为计算得到的非线性分析地基土压力分布图。由两图可知，图 10 中筏板下侧边缘出现了拉应力区；而图 11 中出现了明显的零应力区，真实反映了地基土的单压属性。因此对于地基土的模拟，可以通过对基础指定单压面弹簧，设置非线性分析工况来实现其单压属性。

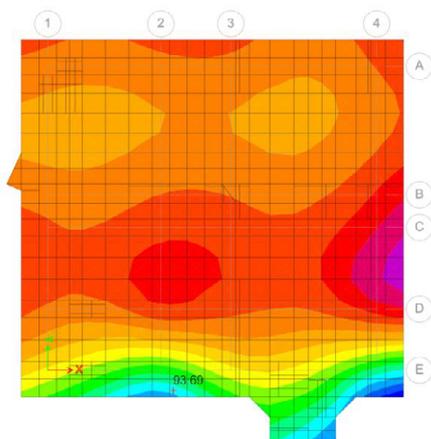


图 10 地基土压力分布图（线性分析）

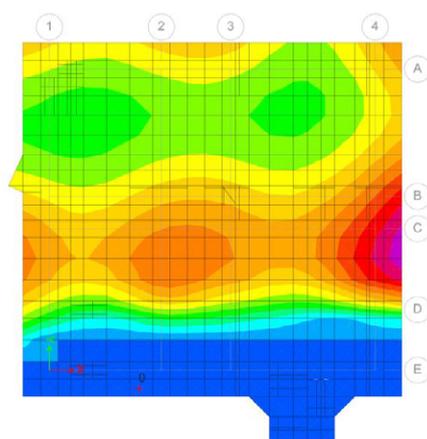


图 11 地基土压力分布图（非线性分析）

3.2 开裂分析

由于混凝土开裂、徐变和收缩的影响，长期荷载作用下混凝土受弯构件会产生较大挠度，这个挠度值要比弹性计算的挠度值大得多。因此结构设计需要计算受弯构件的长期挠度值，必要时还需要根据计算的挠度值对受弯构件进行预起拱。现有的《混规》规定的混凝土结构挠度和裂缝的计算公式仅适用于梁，并不适用于双向板，因此国内设计时也没有要求计算楼板的长期开裂挠度。但是随着一带一路政策的推进，越来越多的国内工程师需要采用欧美标进行海外项目设计；而采用欧美标进行楼板分析时，长期挠度分析、开裂分析往往是设计文件不可或缺的一环。SAFE 软件作为一款国际主流分析软件，基于欧标 EC-2:2004 有关条文，可以对双向板进行开裂及长期挠度的分析^[2]。

SAFE 软件对于开裂及长期挠度分析的流程可简化为以下步骤：

- 1) 首先基于弹性分析，得到构件的受力状态；
- 2) 确定构件配筋（根据用户指定配筋或有限元设计结果）；
- 3) 根据混凝土截面和钢筋布置，计算构件的开裂弯矩 M_r ；
- 4) 计算内插相关系数 ζ ；
- 5) 计算构件的未开裂状态曲率 ψ_1 、充分开裂曲率 ψ_2 ；
- 6) 计算给定的弯矩值 M 作用下的曲率 $\psi_m = (1-\zeta) * (\psi_1) + \zeta * (\psi_2)$ ；
- 7) 计算一个弯曲刚度修正系数；
- 8) 计算使用了刚度修正系数下的位移；
- 9) 迭代计算直到两次计算得到的最大位移的差值足够小，或者达到最大迭代数量，终止计算。

其中第 3~9 步为 SAFE 软件内核自动计算，用户无需干预，只需设置对应的非线性工况即可。

对于楼板的短期开裂，其工况设置界面如图 12。若需要考虑混凝土徐变和收缩的影响，可通过指定对应的徐变、收缩和龄期系数来实现，其工况设置界面如图 13。

以某单层框架模型为例，模型呈方形，长、宽方向各 2 跨，跨度均为 8m，框架共 1 层，层高 4m，分别计算该模型的弹性挠度最大值、短期开裂挠度最大值、长期开裂挠度最大值，统计结果见表 1。

表 1 挠度计算结果

	弹性挠度最大值	短期开裂挠度最大值	考虑徐变收缩影响的长期开裂挠度最大值
挠度值	9.76mm	47.65mm	75.51mm

由上表可知，弹性挠度远小于短期开裂挠度；考虑了徐变和收缩影响后，长期开裂挠度会进一步增大。



图 12 楼板短期开裂参数设置



图 13 楼板长期开裂参数设置

若想详细了解该功能，可查阅这篇技术通讯文章：[SAFE 中考考虑徐变和收缩效应的长期挠度分析^{\[3\]}](#)。

4. 预应力楼板设计

后张预应力使混凝土处于受压状态，减小弯曲带来的拉应力，从而减小构件挠度和配筋面积。SAFE 中可以在模型中布置后张预应力钢束，如图 14。可以手动灵活布置钢束，也可以基于设计板带、支承线或梁构件快速添加钢束。钢束的布置类型可以是“带状式”的，也可以是“分布式”的。通过竖向剖面选项，可以控制支点处钢束的形状，选择抛物线时为一条水平线通过支点，选择反抛物线时为一条反向的抛物线通过支点。用户还可以指定预压水平和自平衡荷载比例的最大值、最小值，程序将自动迭代，确定钢束的形状轮廓，达到满足应力和平衡要求的最佳状态，如图 15。

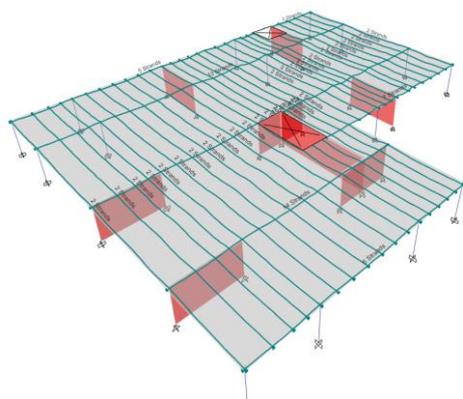


图 14 后张法预应力钢束布置图

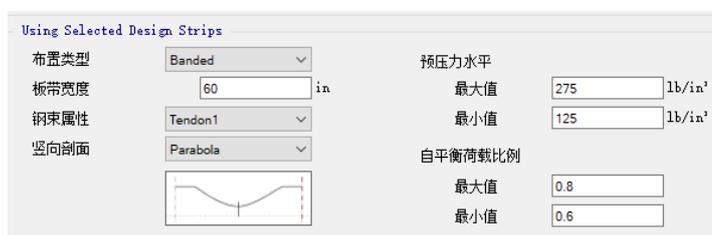


图 15 预应力钢束属性定义

不同的预应力钢束配置方案对板的受力有很大影响。右键单击任意钢束，可以对其进行调整和优化。在图 16 所示的对话框中，可以直接在剖面图中拖动各控制点来调整钢束的剖面形状，也可以在下方的表格中调整各跨剖面类型和各控制点的跨度和高度。在这个窗口中，直接显示了各跨钢束张拉过程中和张拉完成后向上的平衡力。此外，还可以调整钢束体系、钢绞线股数、钢束预应力荷载（图 17）及预应力损失（图 18）。程序有默认的钢束张拉应力、短期应力损失、长期应力损失，传递预应力荷载阶段利用短期应力损失调整钢束力，最终状态采用长期应力损失调整钢束力。程序也支持用其他方式计算应力损失，比如基于初始应力的百分比确定预应力损失值，或基于曲率系数、摆动系数、锚固变形和弹性短期损失计算短期应力损失，基于徐变、收缩和松弛计算长期应力损失。

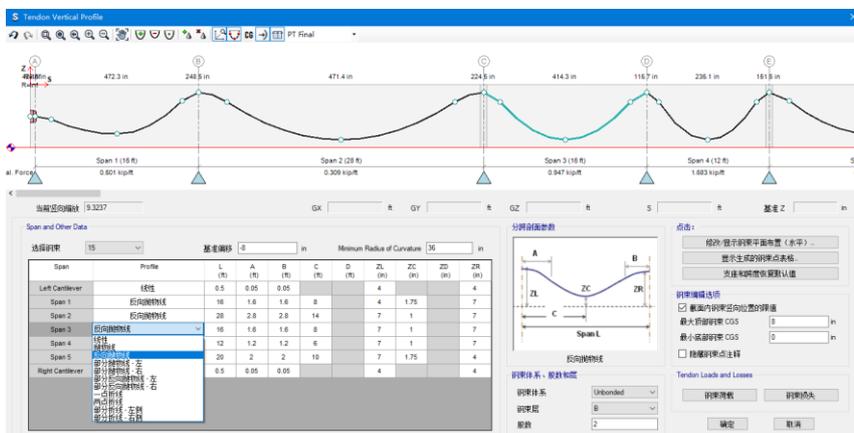


图 16 预应力钢束形状



图 17 预应力荷载



图 18 预应力损失

SAFE 将校核三种状态下的预应力楼板：传递预应力荷载阶段、所有损失已发生且正常使用阶段、所有损失已发生且长期使用阶段，可以查看任一状态下的楼板应力，如图 19 和图 20。

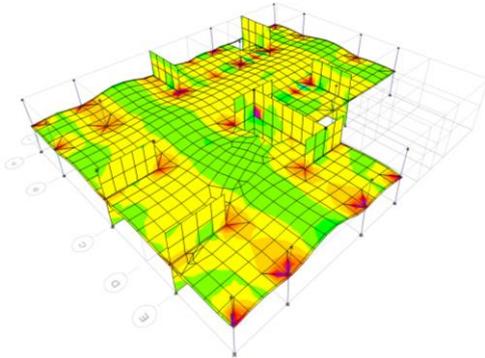


图 19 传递预应力荷载阶段的 S11 应力云图

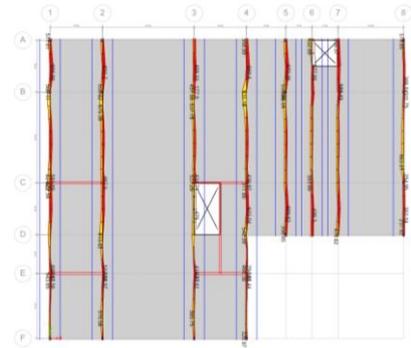


图 20 Y 方向设计板带持久状态压应力

5. 小结

活荷载不利布置是楼板设计中的常见问题，SAFE 通过自动样式活荷载和 Range Add 组合，自动考虑活荷载的不利布置对结构设计的影响。

SAFE 可以自定义或自动生成 T 形截面梁，考虑翼缘受压的有利作用，优化梁的配筋。

SAFE 可以模拟土的单压属性，以判断基础的零应力区。

楼板的开裂和挠度分析在国内规范中没有明确的规定，但在欧美规范中已有具体的要求。SAFE 实现了相应的算法，为工程师深入设计双向楼盖体系提供有力工具。

预应力楼板在我国已逐步开始推广应用，SAFE 是少有的可直接用于预应力楼板设计的工具。

以上是对 SAFE 的一部分特色功能的简介。SAFE 作为专业的楼板体系分析设计软件，实现了混凝土楼板和基础从建模、分析、设计、详图到报告输出的全过程。SAFE 体现了数值分析、求解算法和设计规范的最新发展，为结构设计人员提供了一体化解决方案。

参考资料

- [1] 李立, 刘春明, 李楚舒. 活荷载不利布置计算的一种快速通用方法[J]. 建筑结构, 2009, 39(S1).
- [2] Computers & Structures Inc. SAFE V20 Manuals—Analysis Verification Example 16—Cracked Slab Analysis. 2021
- [3] 郑翔. SAFE 中考虑徐变和收缩效应的长期挠度分析. 技术通讯, 第十三期. 北京筑信达工程咨询有限公司. 2020, 3.
- [4] Computers & Structures Inc. SAFE Key Features and Terminology. 2021



桥梁自动抗震设计中的 Pushover 分析

筑信达 吕良

Pushover 分析方法又称非线性静力推覆分析，是一种能预测地震响应并为结构抗震性能进行评估的方法。目前中国公路桥梁抗震设计规范（JTG/T 2231-01—2020）规定：E2 地震作用下规则桥梁多柱墩需要使用非线性静力分析方法（即 Pushover 分析）计算桥墩顶处的容许位移。美标公路桥梁抗震规范《AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design》中规定，对于 D 类桥梁的抗震位移能力需要通过 Pushover 分析来求解。

CSiBridge 中嵌入了中国公路桥梁抗震设计规范及美标桥梁抗震设计规范，能实现对规则桥梁的“自动抗震分析”，具体操作可查看文章“[桥梁性能化抗震设计在 CSiBridge 中的实现](#)”。在对桥梁进行“自动抗震分析”时 CSiBridge 能自动依据相应规范执行 Pushover 分析求解桥墩的位移能力。本文将结合中国公路规范及 AASHTO 规范中对 Pushover 分析的规定，简要介绍在 CSiBridge 自动抗震设计中 Pushover 的实现流程及方法。

1. 桥梁 Pushover 分析

静力推覆分析方法自提出以来，各国学者提出了各种不同的具体实施办法，这里主要介绍中国公路规范及 AASHTO 规范中 Pushover 求解桥墩位移能力的方法。AASHTO 规范中抗震策略为 Type1 的 D 类桥梁在地震作用下，上部结构需保持弹性状态，采用下部结构延性来抵抗地震作用。而国标中的要求更加明确，对于抗震体系为类型 I 的 B 类和 C 类桥梁，地震作用下，桥梁的弹塑性变形、耗能部位位于桥墩。对于此类桥梁，AASHTO 规范和国标采用 Pushover 求解桥梁的位移能力的分析方法大致相同。其基本思路是将地震荷载等效成侧向荷载，通过对结构施加单调递增水平荷载来进行分析的一种非线性静力分析方法，它研究结构在地震作用下进入塑性状态时的非线性性能。

利用 Pushover 分析进行桥梁位移能力求解时将桥墩视为延性构件，对桥墩顶或盖梁施加侧向荷载，保证桥梁在侧向力 F 作用下，塑性铰的出现位置为桥墩底或桥墩顶。当桥墩某一塑性铰达到最大变形(即将卸载)时，结构成为机动体系，达到最大位移 Δ_u 。

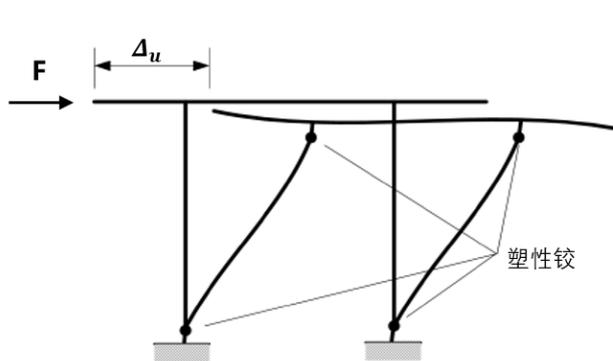


图 1-a 荷载施加方式

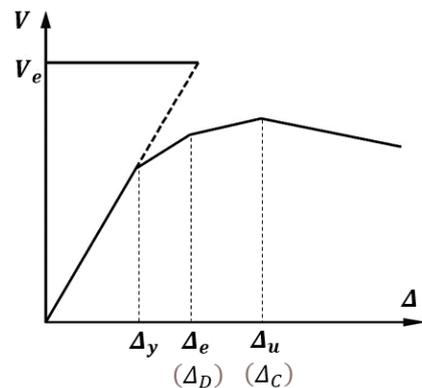


图 1-b 位移剪力图

利用 Pushover 分析，可得到全桥各处的位移。以桥墩顶的位移 Δ 代表全桥位移，以墩底剪力之和 V 代表侧向力，可以绘制剪力-位移图，如图 1-b 所示。结构位移随着侧向力的不断增大而增大，其中曲线的拐点代表了桥梁出现塑性铰，刚度下降。 Δ_y 为桥梁首次出现塑性铰时的位移， Δ_u 为结构成为机动体系时的位移，代表了桥梁的位移能力 Δ_c 。 Δ_e 为由反应谱分析得到的位移，代表了位移需求 Δ_D 。如果位移能力 Δ_c 大于位移需求 Δ_D ，则该桥梁满足规范抗震的位移。

需要注意的是，Pushover 求解桥梁整体的位移能力时 AASHTO 规范是需要考虑基础的作用。仅当基础对桥梁位移能力的影响较小时，可以不做考虑。而国标中并没有强调 Pushover 分析需要考虑基础的作用。另外，AASHTO 规范中判断桥墩的极限位移能力是当桥墩某一塑性铰达到最大变形（即将卸载）结构成为机动体系时对应的位移 Δ_u 。而国标中桥墩的位移能力是由第一个属于该桥墩的塑性铰达到指定的极限状态时的位移决定的，两本规范的定义稍有区别。



2 Pushover 的一般步骤

Pushover 分析方法能预测结构在侧向荷载作用下相关构件在各个阶段所处的状态：即从弹性阶段、开裂阶段、屈服阶段、弹塑性阶段、破坏阶段。同时找到塑性铰在结构中出现的位置、顺序以及相应的薄弱环节和倒塌破坏模式。因此在分析过程中需要考虑材料的塑性、塑性铰的位置、不同阶段的不同状态等。其一般分析步骤如下：

- 1) 建立结构的有限元分析模型。
- 2) 根据有限元模型中各单元的种类以及所采用的材料，计算各单元的塑性铰性质（恢复力模型）。
- 3) 在开裂或屈服构件的一端或两端设置塑性铰。桥梁结构中，塑性铰一般都出现在桥墩的顶、底部，上部结构由于刚度较大一般很少进入塑性。
- 4) 对结构进行静力分析，计算结构在初始荷载作用下的内力情况（即在推覆分析前，计算结构自重的影响）。
- 5) 计算结构的目标位移，施加侧向荷载，通过逐步增大侧向荷载逐级“Push”结构，直至结构中构件出现开裂或进入屈服。
- 6) 重复上一步骤，直至结构顶点水平位移达到极限位移。
- 7) 记录每一次所施加的侧向荷载与相应结构顶点的水平位移。数据整理，绘制结构的基底剪力—顶点位移关系曲线

CSiBridge 自动抗震设计依据中国规范及 AASHTO 规范要求将上述 Pushover 分析流程整合到程序当中，实现自动分析。选取的规范不同，程序会有不同的处理方式，具体的实现细节将在下节介绍。

3 实现要点

当桥梁的抗震设计类别被自动识别为 D 或用户将抗震设计覆盖项设置为 D 时，CSiBridge 根据 AASHTO 抗震设计规范 4.8.2 条执行 Pushover 分析确定位移能力。选择中国规范时，对于双柱或多柱排架墩的横桥向应分别根据第 7.4.7 条和第 7.3.7 条执行 Pushover 分析。

CSiBridge 基于构件的参数化建模方式，程序能识别桥墩构件的属性，并依据所选择的规范自动计算桥墩的塑性铰的长度和桥墩截面的塑性铰属性，并自动为桥墩指定塑性铰。Pushover 分析时，程序依据规范考虑结构自重的影响，依据桥梁的抗震体系所包含的桥墩数量，对每一个桥墩执行横桥向和纵桥向的 Pushover 分析。

3.1 塑性铰的长度及位置

当设计规范选择 AASHTO 规范时，混凝土桥墩塑性铰长度由 AASHTO 抗震设计规范 4.11.6 条确定，具体公式如下：

$$L_p = 0.08L + 0.15f_{ye}d_{bl} \geq 0.3f_{ye}d_{bl} \quad (\text{AASHTO 4.11.6-1})$$

其中： L 是墩柱中最大弯矩点至反弯点的长度 (in)， f_{ye} 墩柱纵向钢筋的有效屈服强度 (ksi)， d_{bl} 墩柱纵筋的公称直径 (in)。

当设计规范选择中国公路规范时，塑性铰长度分别对应《JTG/T 2231-01—2020》第 7.4.4 条和《城市桥梁抗震规范》中的第 7.3.5 条。在两个国内规范中塑性铰的长度公式相同，具体公式如下：

$$L_p = 0.08H + 0.022f_yd_s \geq 0.044f_yd_s \quad (\text{JTG 2020 7.4.4-2})$$

式中各参数的意义与美标对应参数相同，但是由于国标公式中参数的单位为兆帕和厘米，所以在系数上与美标有差异。

需要注意的是，桥墩计算得出的塑性铰长度在顺桥向和横桥向可能是不同的，然而模型中每个塑性铰只能指定一个塑性铰长度。对于一个具体的模型，可以在“抗震设计首选项中”指定采用两个塑性铰长度中的顺桥向、横桥向、较大值、较小值或平均值。用户可以在采用其中一个设置计算之后再另用一个设置再次计算以查看影响。

在确定塑性铰长度和塑性铰属性之后，塑性铰将被指定在距墩柱端部 1/2 该塑性铰长度的位置，如图 2 所示。



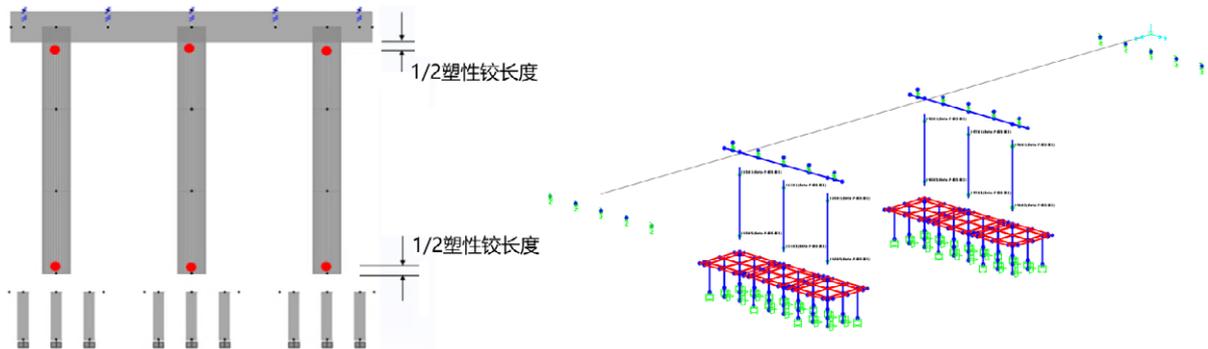


图 2 桥墩塑性铰的指定

3.3 材料的非线性

塑性铰的延性行为与该塑性铰所在构件材料的非线性属性密切相关。CSiBridge 内置了中国规范和 AASHTO 规范中的材料，但是材料的非线性属性须在非线性材料数据窗口中定义。程序默认混凝土非线性本构采用 Mander 模型，与 AASHTO 抗震规范和国标公路抗震规范要求相符。指定截面的配筋信息后，程序会自动计算出约束混凝土的应力应变曲线，如图 3-a 所示。类似的，钢筋的非线性材料同样在材料非线性属性数据窗口中定义。钢筋的非线性本构可采用 Simple 或 Park 模型，两个本构模型均是将钢筋的应力-应变曲线分为三段：弹性段、理想塑性段和应变硬化段。不同的是在应变硬化段 Simple 模型使用抛物线形，Park 模型则使用经验公式。另外，用户也可以自定义的应力-应变数据，包括硬化起始应变、极限应变和应力-应变图的最终斜率，定义完成后可查看钢筋应力应变曲线，如图 3-b 所示。

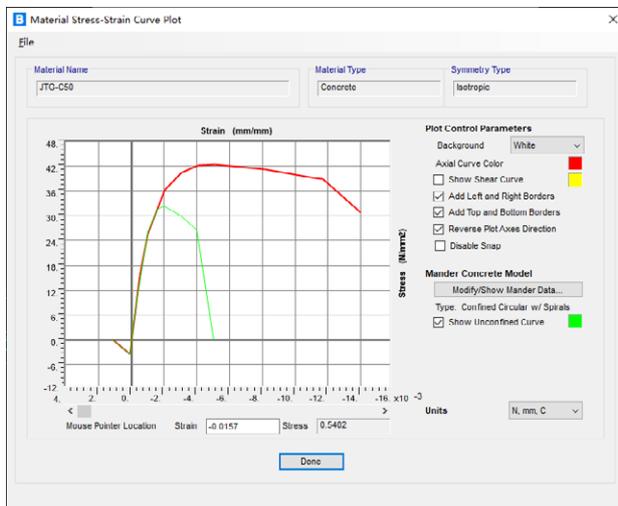


图 3-a 混凝土的应力-应变曲线

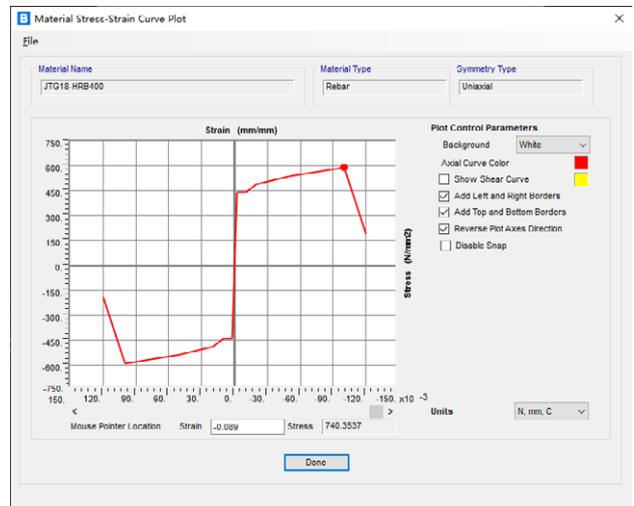


图 3-b 钢筋的应力-应变曲线

3.3 桥墩截面的定义

对于常规的方形截面和圆形截面 CSiBridge 中可直接通过混凝土框架截面定义，即通过【构件选项卡>类型】，选择【框架属性>新建混凝土框架截面】，然后选择方形或圆形截面，并指定截面的配筋形式。在程序内部会将方形和圆形截面转换成截面设计器截面，以确定塑性铰特性和开裂截面特性。对于复杂的桥墩截面，则可以通过 SD 截面设计器来定义。SD 截面设计器支持 DXF 文件的导入，适合各种类型的复杂截面定义，并支持对复杂截面的纤维划分。对于不满足 Mander 本构条件的桥墩截面，可通过纤维铰来计算桥墩截面的铰属性。

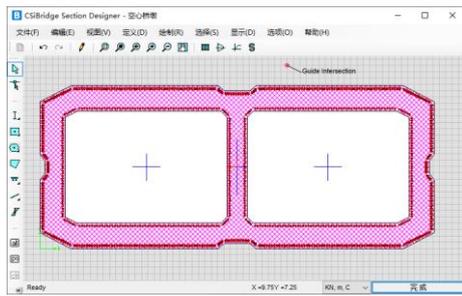


图 4-a 复杂桥墩截面的定义

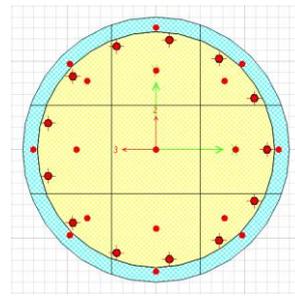


图 4-b 桥墩截面的纤维划分

3.4 塑性铰属性

国标公路抗震规范和 AASHTO 抗震规范中混凝土墩柱的塑性铰属性均是通过将弯矩-曲率曲线转化为理想二折线确定的。在截面设计器中可以查看 CSiBridge 对墩柱截面进行 M- ϕ 曲线分析的结果，如图 5 所示，在视图窗口中可以看到该截面在指定轴力作用下的弯矩-曲率曲线。在红色选框 1 “理想化模型 (Idealized Model)” 选项中选择相应的规范，如这里选择的为中国规范 “JTG”，程序将依据二折线与弯曲-曲率曲线所围城两个区域面积相等为原则绘制理想弹塑性二折线。

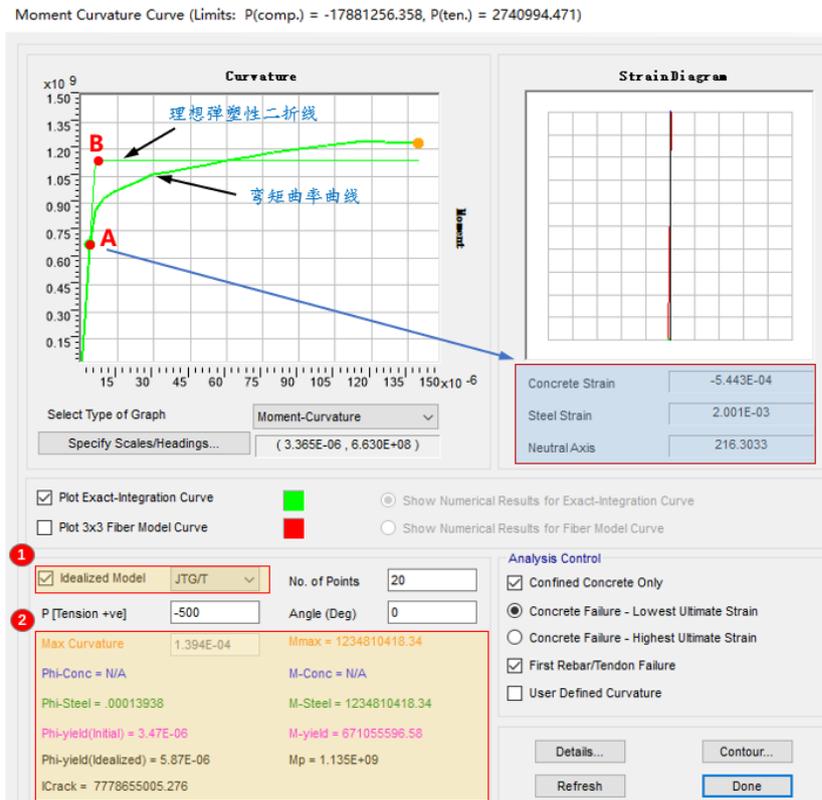


图 5 弯矩曲率曲线

选择中国规范 “JTG” 后，在红色选框 2 中会显示该桥墩截面的分析结果，这里将各个参数的对应的名称及含义整理在表-1 中。关于该窗口中其他参数详细介绍可以参考知识库文章 “[截面设计器中弯矩-曲率窗口中的相关参数意义](#)”。

表-1 桥墩截面分析结果

符号	名称	含义
Phi-Conc、M-Conc	\	表示混凝土达到极限压应变时，截面对应的弯矩和曲率
Phi-Steel、M-Steel	\	表示受拉钢筋达到极限应变时，截面对应的弯矩和曲率。
Phi-yield (Initial)、M-yield	屈服曲率、屈服弯矩	表示第一根钢筋进入屈服时截面的弯矩和曲率，对应图-5 中弯矩曲率曲

10



		线中的 A 点。A 点箭头所指的应变图显示了对应时刻截面的应变分布及钢筋应变值，此时钢筋的应变等于的钢筋屈服应变。
Phi-yield(idealized)、M-p	理想屈服曲率 理想屈服弯矩	表示根据所选择的理想化模型所计算出的理想屈服弯矩和理想屈服曲率。图-5 中的两折线表示依据 JTG 规范计算出理想弯矩-曲率曲线，B 点为理想屈服点，对应理想屈服弯矩和理想屈服曲率。
I_{crack}	开裂截面惯性矩	混凝土柱开裂之后且破坏之前可以等效成的弹性截面的抗弯惯性矩，其计算公式为： $I_{crack} = \frac{M_y}{E\phi_y}$

需要注意的是：对于多柱墩，在横向 Pushover 的过程，桥墩的轴力因倾覆效应而不断变化。因此，同一桥墩截面的屈服弯矩和屈服曲率依据 Pushover 分析步中轴力的改变而变化。CSiBridge 在分析时会实时读取桥墩的轴力值，并依据轴力调整塑性铰的属性。另外程序默认为桥墩指定 P-M-M 铰，相较于 P-M 铰，P-M-M 铰能同时考虑轴力与两个方向的弯矩耦合作用，计算结果更加符合工程实际。通过命令：【高级选项卡>指定>截面>塑性铰】，用户可以查看铰的骨架曲线和 PMM 相关面属性。

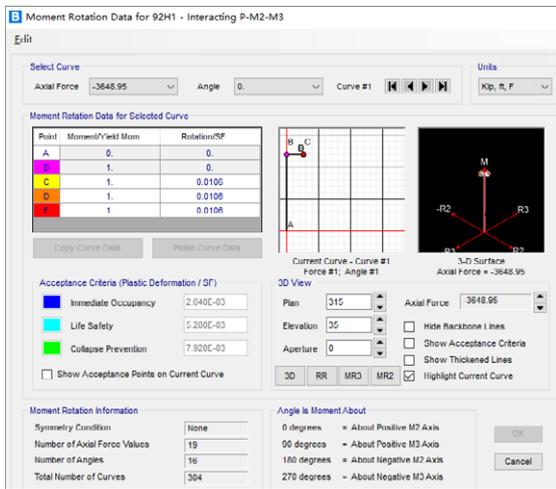


图 6-a 铰骨架曲线

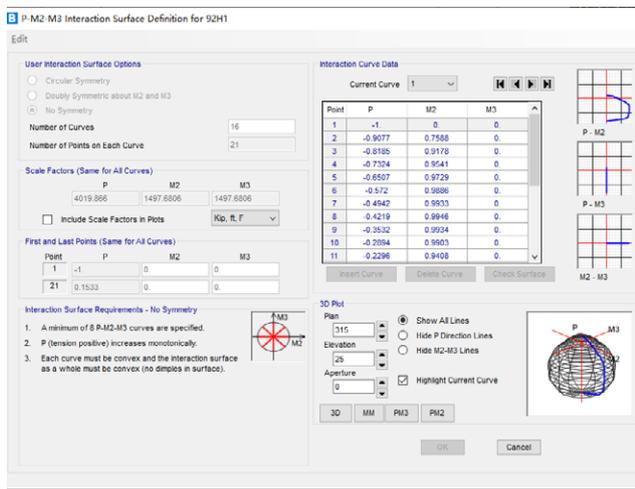


图 6-b P-M-M 相关面

3.5 分析过程

桥墩作为延性构件，在地震作用下会开裂，其刚度会降低，因此在 Pushover 分析时需要考虑桥墩开裂后的属性。AASHTO 抗震规范和国标公路抗震规范计算桥墩开裂截面惯性矩 I_{crack} 的方法相同，即通过截面分析计算桥墩截面在自重工况下的等效屈服弯矩 M_y 和等效屈服曲率 ϕ_y ，通过公式 $I_{crack} = \frac{M_y}{E\phi_y}$ 计算开裂截面的惯性矩。在图 5 红色选框 1 下侧 P(Tension+)中，对桥墩截面指定上部结构引起的轴压力后，程序会自动计算出该截面的等效屈服弯矩 M_y 、等效屈服曲率 ϕ_y ，和开裂截面惯性矩 I_{crack} 。

CSiBridge 中 Pushover 分析模型可以包含或不包含上部结构。对于带上部结构进行 Pushover 分析的工况，目标桥墩保留原来的支座，其他桥墩的支座转换为滑动支座。对于不包含上部结构的 Pushover 分析，程序首先会执行一个重力工况，将桥墩取为隔离体，依据桥墩轴力计算桥墩截面的开裂特性，通过修正系数，修改墩属性为开裂截面属性，并施加自重和上部结构恒荷载用于下一步的推覆分析。

运行 Pushover 分析时，CSiBridge 会识别桥梁抗震体系 (ERS) 中包含的桥墩数量，执行多个 Pushover 分析。每个桥墩在顺桥向和横桥向分别进行 Pushover 分析。如果设计桥梁在两端桥台处使用桥墩，该桥墩也会包含在加抗震体系中自动进行 Pushover 分析。

4 结果查看

Pushover 分析完成后，在变形图中通过调整分析步可以查看桥墩在每一步的分析过程中结构的变形以及铰的状态。

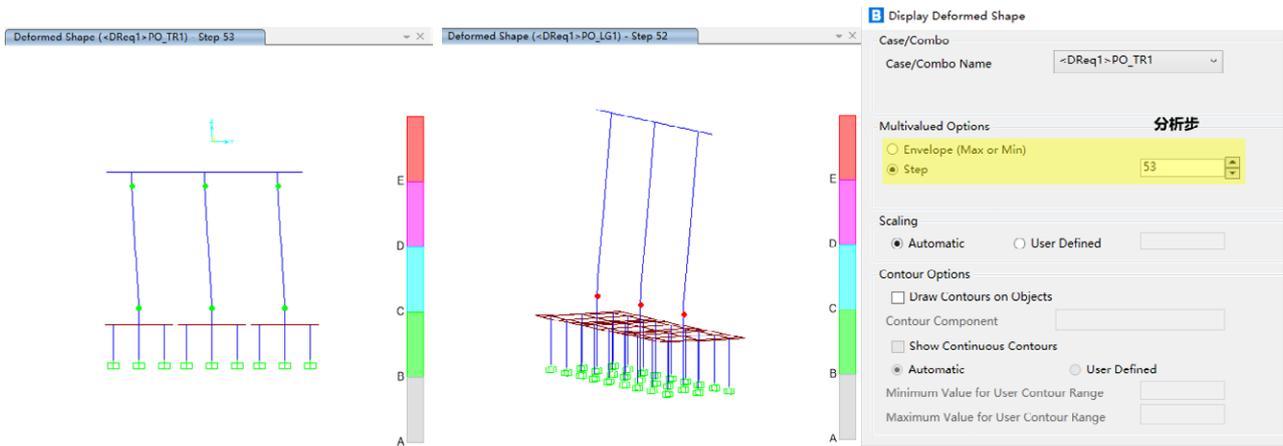


图 7 桥墩结构变形及铰状态

4.1 桥墩顶的容许位移

依据 AASHTO 规范，位移能力是桥墩刚好开始强度失效（Pushover 曲线斜率为负）时的最大位移。通过查看 Pushover 分析曲线，如图 8 所示，该曲线为墩底剪力和位移曲线，当墩底剪力开始减小时表示塑性铰达到其极限曲率状态，此时对应的墩顶位移即为所求的桥墩位移能力 Δ_c 。对于中国规范，可以通过表格显示塑性铰每一个分析步的状态，找到该桥墩第一个的塑性铰达到指定的极限状态时的分析步，即可确定桥墩的位移能力 Δ_c 。

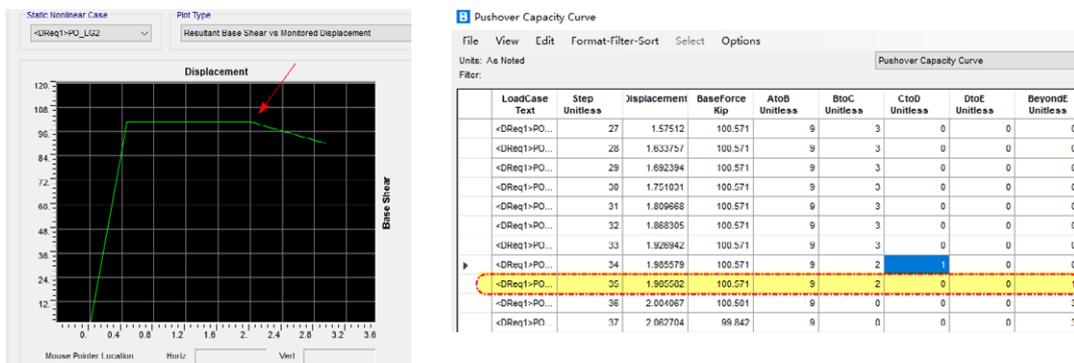


图 8 Pushover 分析曲线及表格显示结果

4.2 桥墩开裂截面特性

由 CSiBridge 自动抗震设计中的 Pushover 分析求解桥墩位移能力时，程序会自动生成重力工况求解桥墩的开裂截面属性。依据开裂截面属性和未开裂截面属性的比值，可以求得桥墩截面的抗弯刚度折减系数。用户可以在工况中查看重力工况的设置，计算得到的桥墩各个方向的抗弯刚度折减系数可以直接通过表格查看，类似图 9 所示。

DesReqName	BridgeObj Text	SpanName Text	Station mm	Column Text	FModifier Text	I22Mod Unitless	I33Mod Unitless
DReq1	BOBJ1	Span1	18047.21	1	<DReq1>-NFM_BT1C1	0.283624	0.283129
DReq1	BOBJ1	Span1	18047.21	2	<DReq1>-NFM_BT1C2	0.287355	0.287415
DReq1	BOBJ1	Span1	18047.21	3	<DReq1>-NFM_BT1C3	0.283624	0.283129
DReq1	BOBJ1	Span2	36335.21	1	<DReq1>-NFM_BT2C1	0.283624	0.283129
DReq1	BOBJ1	Span2	36335.21	2	<DReq1>-NFM_BT2C2	0.287355	0.287415
DReq1	BOBJ1	Span2	36335.21	3	<DReq1>-NFM_BT2C3	0.283624	0.283129

图 9 开裂截面折减系数



5 总结

国标与 AASHTO 抗震规范在进行 Pushover 分析时两者思路方法大致相同，仅在一些细节的处理上有所差异。将这些异同整理到表-2 中，如下所示（下表中“\”表示规范并未规定）：

表-2 国标与 AASHTO 抗震规范中 Pushover 分析的异同

\		JTGT 2231-01-2020	AASHTO 抗震规范
Pushover 适用范围		对于抗震体系为类型 I 的 B 类和 C 类桥梁	抗震策略为 Type I 的 D 类桥梁
不同点	塑性铰长度计算公式	$L_p = 0.08H + 0.022f_y d_s \geq 0.044f_y d_s$ (JTG 2020 7.4.4-2)	$L_p = 0.08L + 0.15f_{ye} d_{bl} \geq 0.3f_{ye} d_{bl}$ (AASHTO 4.11.6-1)
	桥墩位移能力判定方法	首个塑性铰达到极限状态	当桥墩某一塑性铰达到最大变形（即将卸载） 结构成为机动体系时对应的位移
	是否考虑基础	\	需要
相同点	塑性铰的确定方法	理想二折线	理想二折线
	混凝土的非线性属性	Mander 本构	Mander 本构
	钢筋的非线性属性	\	钢筋的应力-应变模型应能体现出弹性部分、 屈服平台和应变硬化范围
	桥面开裂截面属性	考虑桥墩最不利的轴力组合，通过截面分析求得开裂截面属性（7.4.7）	需考虑恒载及倾覆引起的桥墩轴力（4.11.4）， 通过截面分析求得开裂截面属性

CSiBridge 通过 Pushover 求解桥墩位移能力时紧密结合中国公路桥梁抗震设计规范及美标桥梁抗震设计规范，能自动计算桥墩开裂截面塑性、识别桥墩构件、计算并指定塑性铰，并可通过图形或表格的方式查看分析结果。减少了工程时处理模型的繁琐、塑性铰的属性迭代计算工作及结果处理的工作，能极大的提高工程师进行桥梁抗震分析设计的工作效率。

参考资料

- [1] Computers & Structures Inc., 北京筑信达工程咨询有限公司. CSI 分析参考手册. 2019.
- [2] 公路桥梁抗震设计细则: JTG/T B02-01-2008[S].人民交通出版社, 2008
- [3] 公路桥梁抗震设计规范: JTGT 2231-01-2020[S].人民交通出版社, 2020
- [4] AASHTO guide specifications for LRFD seismic bridge design-2th Edition-(2011)

SAP2000API 二次开发-Python 示例

筑信达 孙雪艳

SAP2000 是通用结构分析与设计软件，在民用建筑、场馆结构、工业建筑中都有使用。使用软件进行模型处理的过程中，会遇到手工操作繁琐的过程，如格构构件建模、圆截面构筑物风荷载体型系数、钢结构防火设计等。这些问题在筑信达工具箱中均给出了解决方案，使用的是 SAP2000 提供的 API 函数。SAP2000 从 V11 版本开放 API(Application Programming Interface) 接口。工程师通过 API 接口函数控制 SAP2000 软件的使用，进行建模、荷载设置、模型编辑、分析结果提取等，编制属于自己的工具。

API 函数可以使用多种编译环境进行开发，包括 VBA、VB、C#、Intel Visual Fortran、C++、MATLAB、Python 等。本文介绍使用 Python 语言进行 SAP2000API 二次开发的过程。

1 软件版本与 IDE 环境

Python 是一种解释型语言，关键字少，结构简单，易于学习。Python 既支持面向过程的函数编程也支持面向对象的抽象编程，具有丰富的库文件，可以进行各种类型项目的开发。

在 API 的帮助文件 CSI_OAPI_Documentation.chm 中建议使用 3.4.3 或更高级的版本 Python，本文作者使用的 Python 版本是 3.8.10。

编写 Python 代码的编译环境有多种，在安装 Python 后，自带 IDLE (Python's Integrated Development and Learning Environment) 编辑器。该编辑器使用简单、通用，且支持不同设备。也可以安装其他类型的 IDE (Integrated Development Environment) 进行代码编写与调试，本文作者使用的 IDE 为 PyCharm。PyCharm 带有一整套可以帮助用户在使用 Python 语言开发时提高效率的工具，比如调试、语法高亮、项目管理、代码跳转、智能提示、自动完成、单元测试、版本控制。

2 开发环境配置

在 Python 中通过 COM 组件调用 SAP2000 的接口进行软件的控制。使用 Python 不能直接调用 COM 组件，需要借助可以访问 COM 组件的库 comtypes。comtypes 是一个轻量级的 python 库，通过这个库文件，直接对 COM 组件进行对象创建，实现对 SAP2000 的调用。

第一次使用 comtypes 时，需要进行库文件的安装。安装库文件的方法有两种。一种是通过 pip 命令安装，一种是在 pycharm 中安装。两种方式安装后在 PyCharm 中均可以使用。

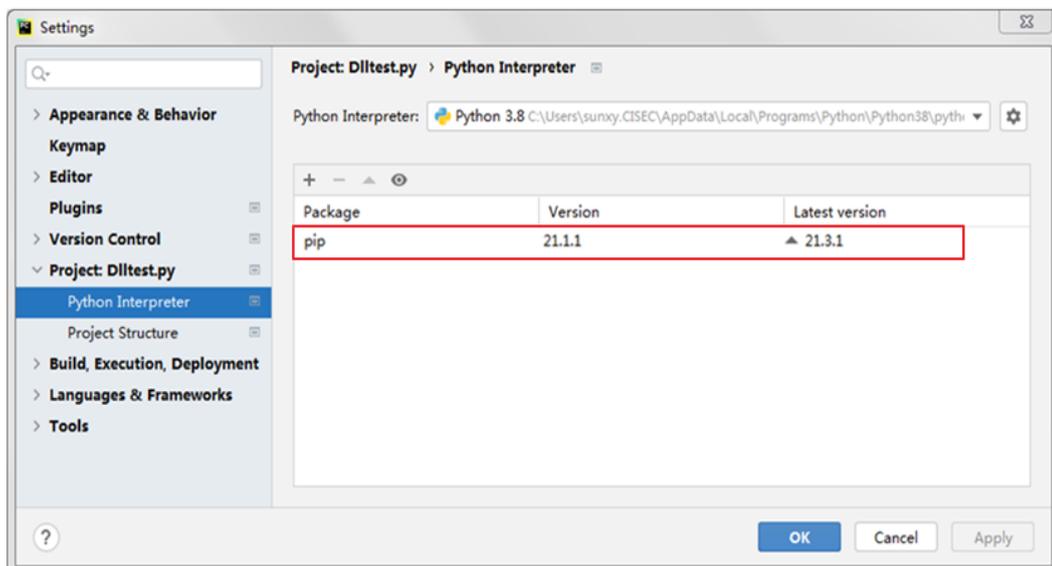


图 1 设置对话框



在设置窗口中，点击 Python Interpreter，设置 Python Interpreter 解释程序为系统的路径。图 1 红色圈中显示当前已经安装库文件。

2.1 Pip 命令安装

在开始菜单中调出 cmd 命令窗口，输入 `python -m pip install comtypes` 命令，自动联网进行 comtypes 库的安装。安装完成后，显示 `Successfully installed comtypes-1.1.10`，表示 comtypes 库安装成功。

打开 PyCharm 的设置窗口，可以看到已经增加 comtypes 库文件。

```
管理员: C:\Windows\system32\cmd.exe
Microsoft Windows [版本 6.1.7601]
版权所有 (c) 2009 Microsoft Corporation。保留所有权利。

C:\Users\sunxy.CISEC>python -m pip install comtypes
Collecting comtypes
  Using cached comtypes-1.1.10.tar.gz (145 kB)
Using legacy 'setup.py install' for comtypes, since package 'wheel' is not installed.
Installing collected packages: comtypes
  Running setup.py install for comtypes ... done
Successfully installed comtypes-1.1.10
WARNING: You are using pip version 21.1.1; however, version 21.3.1 is available.
You should consider upgrading via the 'C:\Users\sunxy.CISEC\AppData\Local\Programs\Python\Python38\python.exe -m pip install --upgrade pip' command.

C:\Users\sunxy.CISEC>
```

图 2 comtypes 库安装

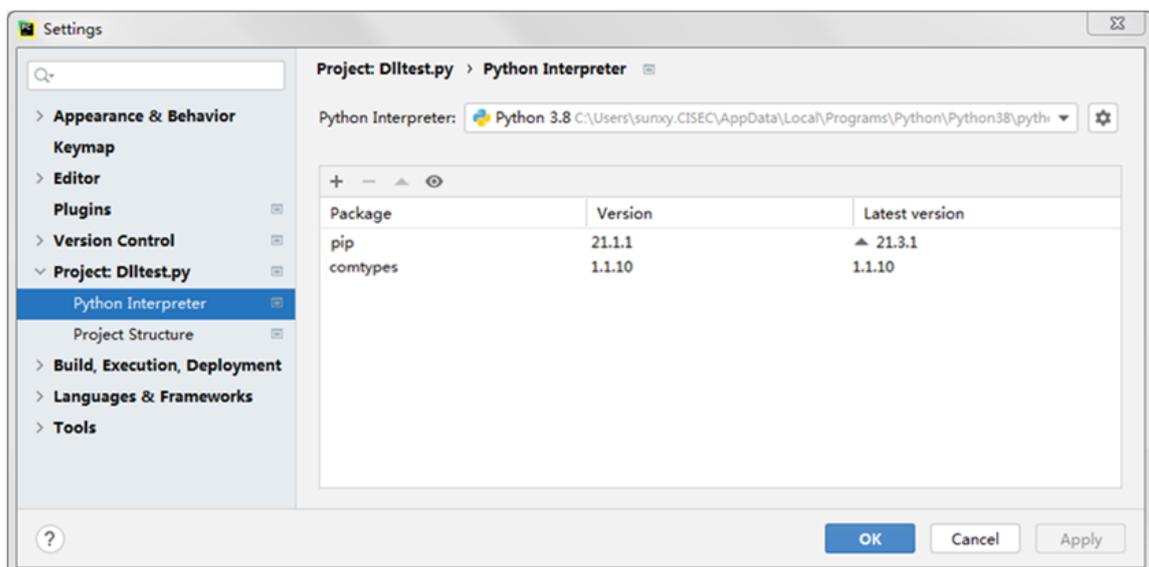


图 3 库文件显示

2.2 PyCharm 中安装

在 PyCharm 设置窗口中点击“+”按钮，在弹出的可用库文件窗口中，输入库名称查找库文件并安装，安装完成后，返回设置对话框，可以看到已经添加的 comtypes 库。

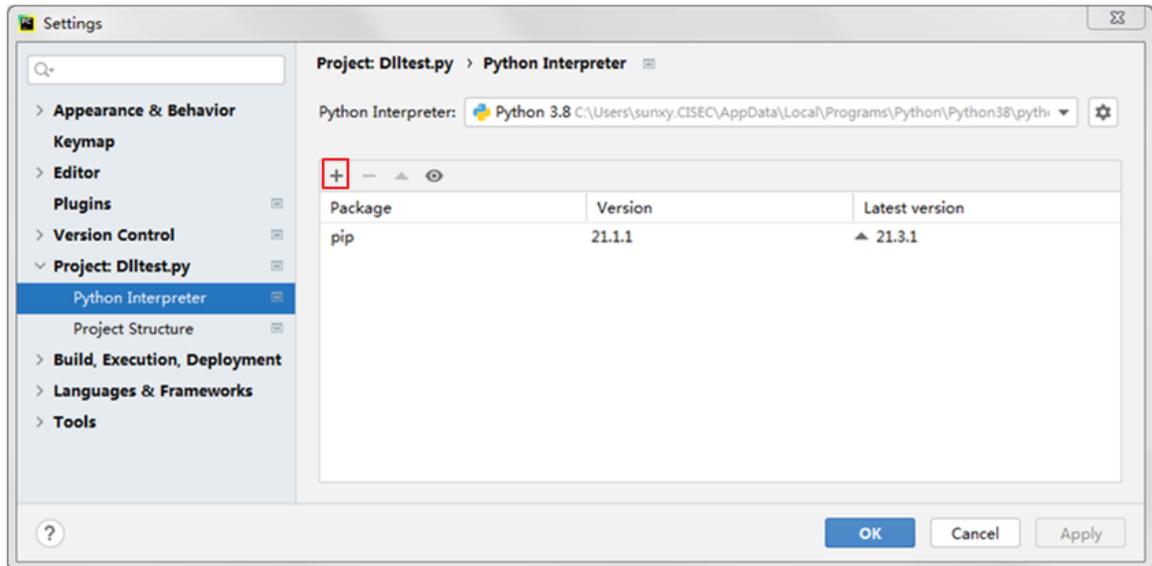


图 4 添加库文件

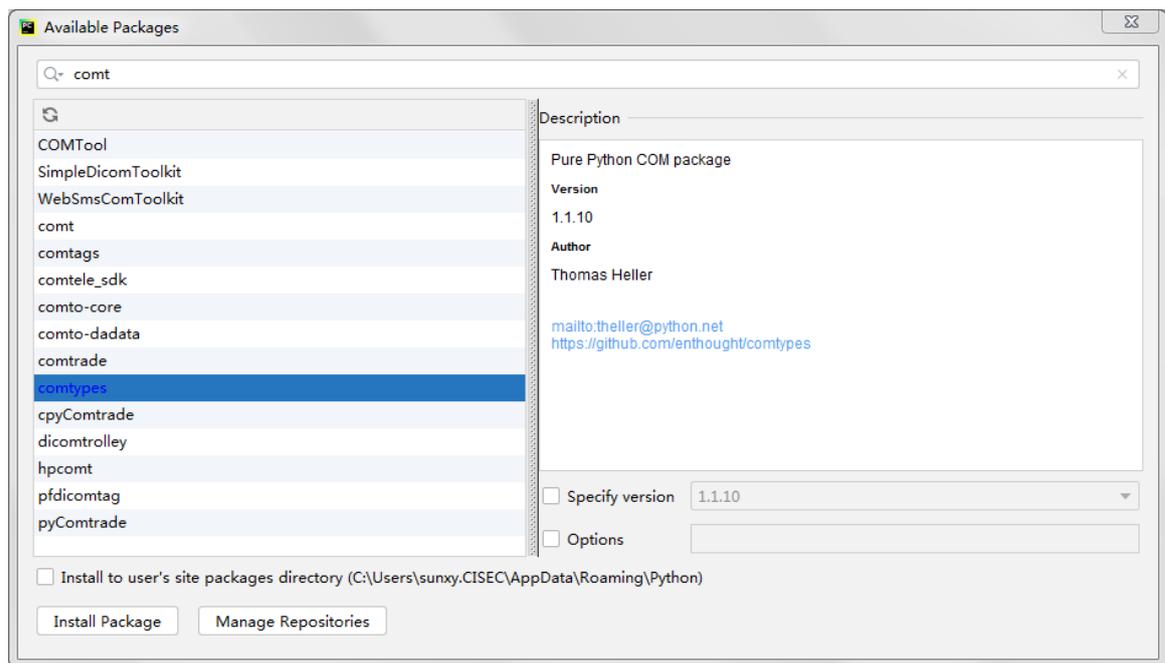


图 5 库文件查找与安装

3 开发示例

API 帮助文档 Example Code 中的 Example 7 是采用 COM 组件方式进行 SAP2000 API 开发的示例代码，介绍使用 Python 语言进行 SAP2000 API 二次开发的过程，包括调用 SAP2000 方式、建立模型、指定荷载、运行分析、提取结果等，本文以此为例介绍 Python 开发的过程。

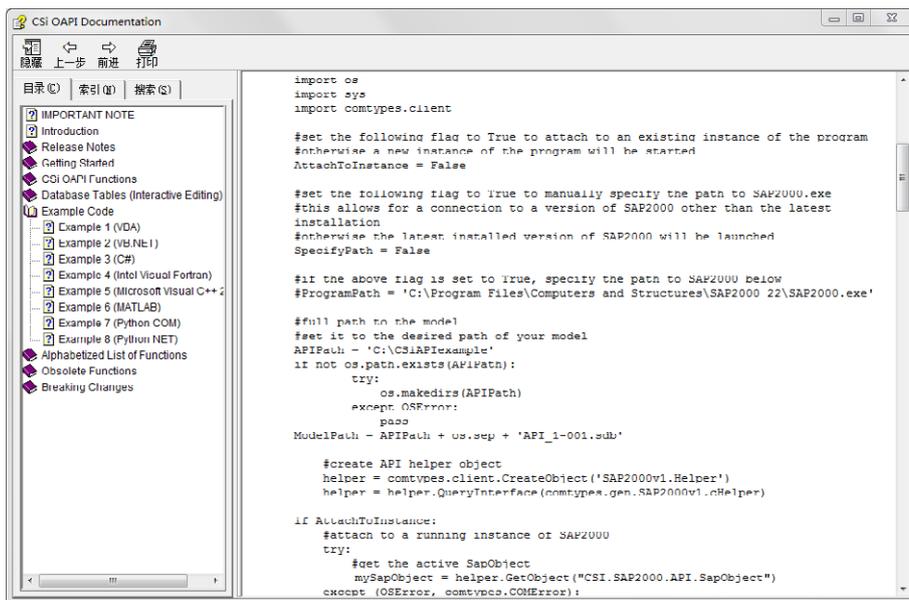


图 6 API 帮助文档 Python 示例代码

建立新的 py 文件，使用 import 导入相关的库，在本例中导入 sys 库和 comtypes 库。

```
import sys
import comtypes.client
```

图 7 导入库文件

3.1 启动 SAP2000 的两种方式

通过 comtypes 库提供的 CreateObject 创建 SAP2000 的实例，函数参数为所要创建的应用程序类名。先尝试打开已经运行的 SAP2000，如果没有，再打开新的 SAP2000，代码如图 8 所示。

```
helper = comtypes.client.CreateObject('SAP2000v1.Helper')
try:
    mySapObject = helper.GetObject("CSI.SAP2000.API.SapObject")
    if mySapObject==None:
        raise Exception("未获得当前运行的SAP2000。")
except(BaseException,comtypes.COMError):
    print("未获得当前运行的SAP2000。")
    ProgramPath = "D:\Program Files\Computers and Structures\SAP2000 23\SAP2000.exe"
    try:
        mySapObject = helper.CreateObject(ProgramPath)
    except (OSError, comtypes.COMError):
        print("不能通过路径打开SAP2000" + ProgramPath)
        try:
            # create an instance of the SAPObject from the latest installed SAP2000
            mySapObject = helper.CreateObjectProgID("CSI.SAP2000.API.SapObject")
        except (OSError, comtypes.COMError):
            print("不能通过ProgID打开SAP2000。")
            sys.exit(-1)
mySapObject.ApplicationStart()
```

图 8 打开 SAP2000

1) 附加到当前的 SAP2000

使用 helper.GetObject("CSI.SAP2000.API.SapObject")函数得到当前运行的 SAP2000 进程，函数参数为 programID，对于



SAP2000V23 版本，此参数为 CSI.SAP2000.API.SapObject，可以在帮助文件中获得这个值。

2) 启动新的 SAP2000

根据 SAP2000.exe 文件的路径或者 SAP2000 的 program ID 来启动 SAP2000 软件。使用函数 `helper.CreateObject(ProgramPath)`，根据 exe 文件路径建立 SapObject 实例，参数为 exe 文件路径。也可以使用 `helper.CreateObjectProgID("CSI.SAP2000.API.SapObject")` 函数根据软件的 program ID 启动建立 SapObject 实例。通过 `mySapObject.ApplicationStart()` 函数启动 SAP2000。

3.2 初始化模型

使用 `SapModel.InitializeNewModel(9)` 函数初始化模型，设置默认单位制为 N-mm。在 `SapModel.InitializeNewModel` 函数定义中可以查看单位制对应的变量值，如图 10 所示。

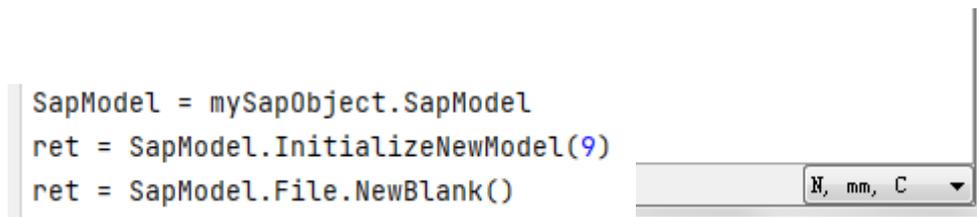


图 9 建立模型设置单位制

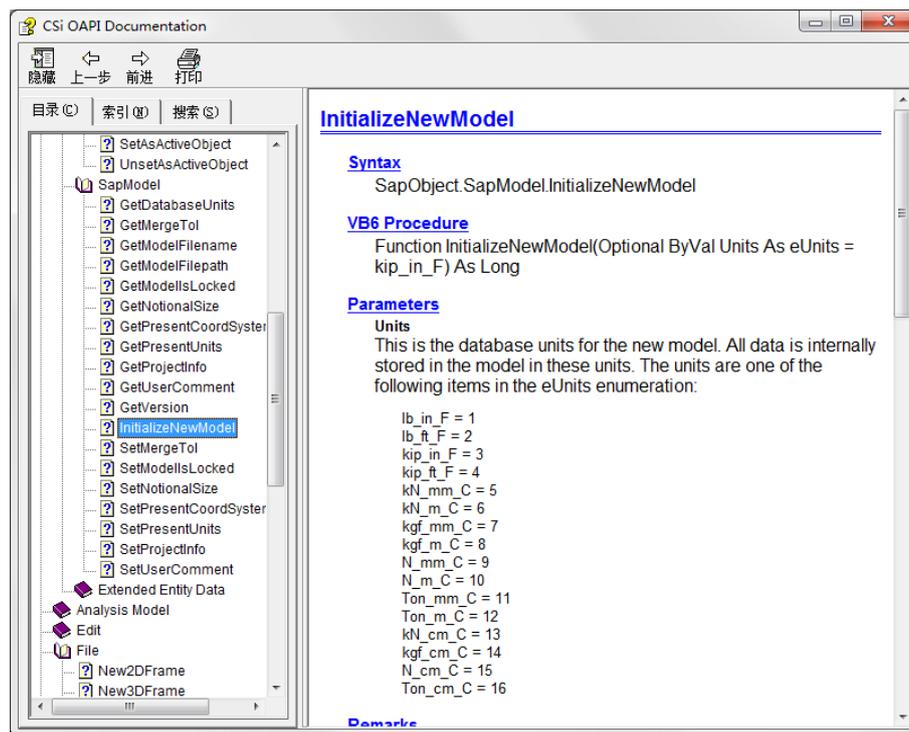


图 10 单位制对应

3.3 材料与截面定义

首先要进行材料和截面的定义。在帮助文件 CSI OAPI Functions->Definitions->Properties->Material 中查看与材料定义相关的函数，包括材料定义、参数修改、参数查询、材料删除等。材料定义有两种方式，一种是添加规范的材料，根据国家、材料类型选择，一种为自定义材料，由用户输入材料的相关参数。

使用 `SapModel.PropMaterial.AddMaterial` 函数添加规范材料，AddMaterial 函数中的 Name 变量为 ByRef 类型，表示该参数按引用方式传递，在函数中修改此参数的值会造成实参的值发生改变。

添加材料函数与软件操作中的材料定义函数相同，参数值不能随便设置，可以参照材料定义窗口的参数取值。参数与操作窗口的命令对应关系如图 12 所示。



```
MatName = "111"
name,ret=SapModel.PropMaterial.AddMaterial(MatName,2,"china","GB","GB50010 C40")
```

图 11 材料定义

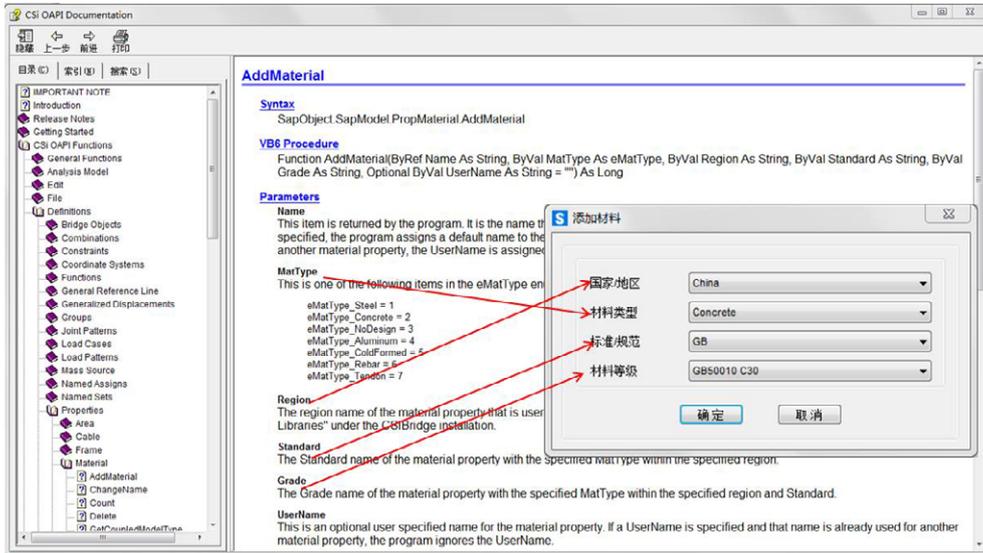


图 13 参数对应

添加自定义材料使用 SapModel.PropMaterial.SetMaterial 函数，然后根据材料类型设置参数。使用 set 开头的函数进行材料参数的设置。如 SapModel.PropMaterial.SetMPIsotropic 函数设置材料的弹性模量、泊松比、热膨胀系数，函数的具体使用可以查看函数的说明。

- ? SetCoupledModelType
- ? SetDamping
- ? SetMaterial
- ? SetMPAnisotropic
- ? SetMPIsotropic
- ? SetMPOrthotropic
- ? SetMPUniaxial
- ? SetOAluminum
- ? SetOColdFormed
- ? SetOConcrete_1
- ? SetONoDesign
- ? SetORebar_1
- ? SetOSteel_1
- ? SetSSCurve
- ? SetOTendon_1
- ? SetTemp
- ? SetVonMisesPlasticityParameters
- ? SetWeightAndMass

图 14 材料参数设置函数

在帮助文件 CSI OAPI Functions->Definitions->Properties->Frame 中查看与杆件截面定义相关的函数，包括截面定义、编辑、删除、参数设置等。

使用 SapModel.PropFrame.SetRectangle 函数定义矩形截面，参数包含截面名称、材料、截面高、截面宽。输入如图 14 所示代码，建立长 300mm，宽 300mm 的矩形截面。设置截面的属性修正系数，将面积放大 1000 倍。



```
ret = SapModel.PropFrame.SetRectangle('Rect1', 'C30', 300, 300)
ModValue = [1000, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1]
ret = SapModel.PropFrame.SetModifiers('Rect1', ModValue)
```

图 15 截面定义

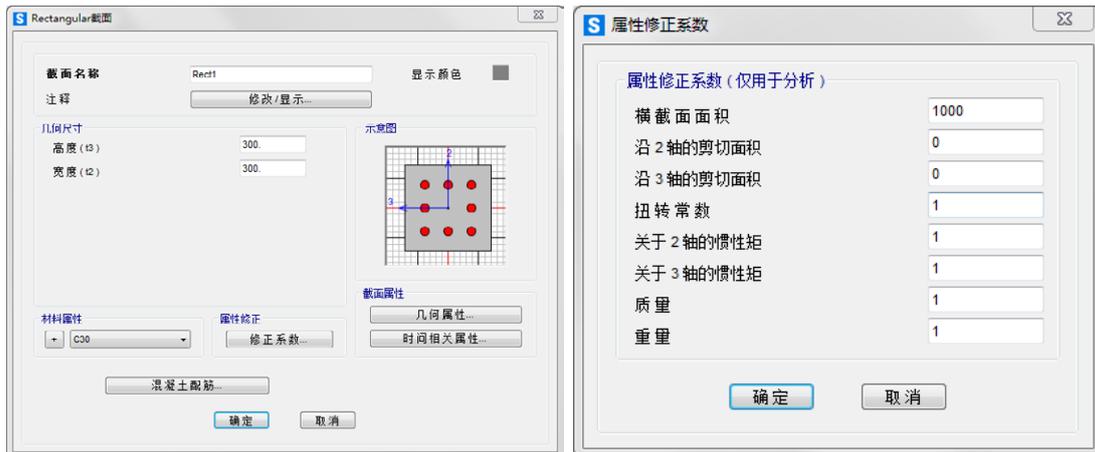


图 16 定义的截面

每种类型的截面均有单独的定义函数，具体可以查看以 set 开头的函数，如图 17 所示。SapModel.PropFrame.SetAngle 函数用于定义角钢截面，SapModel.PropFrame.SetCircle 函数用于定义圆形截面。

- | | |
|---|-------------------------------------|
| ? SetAngle | ? SetDbfChannel |
| ? SetAutoSelectAluminum | ? SetGeneral |
| ? SetAutoSelectColdFormed | ? SetHybridSection |
| ? SetAutoSelectSteel | ? SetHybridUSection |
| ? SetChannel | ? SetISection |
| ? SetCircle | ? SetModifiers |
| ? SetColdBox | ? SetNonPrismatic |
| ? SetColdC | ? SetPipe |
| ? SetColdHat | ? SetPrecast_1 |
| ? SetColdI | ? SetPrecastU |
| ? SetColdL | ? SetRebarBeam |
| ? SetColdPipe | ? SetRebarColumn |
| ? SetColdT | ? SetRectangle |
| ? SetColdZ | ? SetSDSection |
| ? SetCoverPlatedI | ? SetTee |
| ? SetDbfAngle | ? SetTube |

图 17 截面定义函数

3.4 构件绘制

在帮助文件 CSI OAPI Functions->Objects Model-> Frame object 中查看 Frame 单元的相关函数，包括单元绘制、荷载指定、参数调整等。

杆件绘制的方法在 API 函数中有两种，一种是通过坐标值建立杆件，一种是通过节点编号建立杆件，本文通过坐标值来添加 Frame 单元。使用函数 SapModel.FrameObj.AddByCoord 通过坐标值添加杆件。FrameName1 为 ByRef 变量，如要得到在函数中改变后的值，需要将变量名放在等号的左侧得到改变后的值。输入如图 18 所示的代码，建立模型，如图 20 所示。

在建模过程中，可随时根据需要调整模型的单位制，使用函数 SapModel.SetPresentUnits()设置当前单位制，此后的代码输入的数据要与设置的单位相统一。



```
kN_m_C = 6
ret = SapModel.SetPresentUnits(kN_m_C)
FrameName1 = ' '
FrameName2 = ' '
FrameName3 = ' '
[FrameName1, ret] = SapModel.FrameObj.AddByCoord(0, 0, 0, 0, 0, 2.5, FrameName1, 'Rect1', '1', 'Global')
[FrameName2, ret] = SapModel.FrameObj.AddByCoord(0, 0, 2.5, 2, 0, 4, FrameName2, 'Rect1', '2', 'Global')
[FrameName3, ret] = SapModel.FrameObj.AddByCoord(-1, 0, 2.5, 0, 0, 2.5, FrameName3, 'Rect1', '3', 'Global')
```

图 18 绘制杆件

3.5 设置约束

指定构件的约束是对节点进行操作，在帮助文件 CSI OAPI Functions->Objects Model-> Point object 中查看 Point 单元的相关函数，包括节点绘制、荷载指定、约束指定等。

使用 SapModel.FrameObj.GetPoints 函数得到杆件端部的节点编号，使用 SapModel.PointObj.SetRestraint 函数设定节点的约束条件。节点的约束是一个 bool 类型的数组，设置节点在 6 个方向的自由度，true 表示约束，false 表示不约束。输入如图 19 所示的代码，为节点指定约束。生成的模型中显示节点约束，如图 20 所示。

```
PointName1 = ' '
PointName2 = ' '
Restraint = [True, True, True, True, False, False]
[PointName1, PointName2, ret] = SapModel.FrameObj.GetPoints(FrameName1, PointName1, PointName2)
ret = SapModel.PointObj.SetRestraint(PointName1, Restraint)

Restraint = [True, True, False, False, False, False]
[PointName1, PointName2, ret] = SapModel.FrameObj.GetPoints(FrameName2, PointName1, PointName2)
ret = SapModel.PointObj.SetRestraint(PointName2, Restraint)

ret = SapModel.View.RefreshView(0, False)
```

图 19 设置约束条件

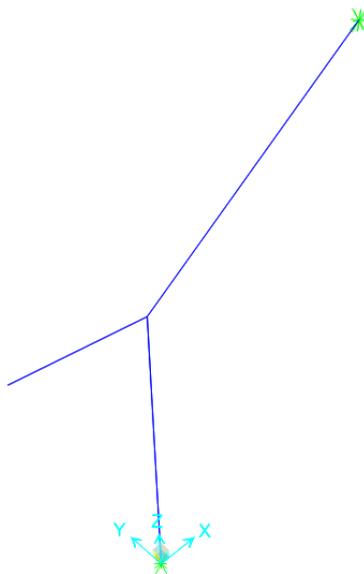


图 20 SAP2000 模型

3.6 荷载定义与指定

定义荷载模式，并对构件指定荷载。在帮助文件的 CSI OAPI Functions->Definitions->Load pattern 部分查看荷载模式定义相关的函数，包括荷载模式的定义、编辑、删除等。使用 SapModel.LoadPatterns.Add 函数添加荷载模式定义。定义荷载模式后，





自动生成同名的荷载工况。

根据节点编号指定节点荷载，使用函数 `SapModel.PointObj.SetLoadForce` 为节点指定集中荷载为-2kN。根据杆件单元编号，指定均布荷载，使用函数 `SapModel.FrameObj.SetLoadDistributed` 函数指定杆件上的均布荷载。输入如图 21 所示的代码，增加两个活荷载工况，工况名称为 Live、Live2，为节点和构件指定荷载，模型显示如图 22 所示。

```
LTYPE_LIVE = 3
ret = SapModel.LoadPatterns.Add('Live', LTYPE_LIVE, 0, True)
ret = SapModel.LoadPatterns.Add('Live2', LTYPE_LIVE, 0, True)

[PointName1, PointName2, ret] = SapModel.FrameObj.GetPoints(FrameName3, PointName1, PointName2)
PointLoadValue = [0, 0, -2, 0, 0, 0]
ret = SapModel.PointObj.SetLoadForce(PointName1, 'Live', PointLoadValue)
ret = SapModel.FrameObj.SetLoadDistributed(FrameName3, 'Live', 1, 10, 0, 1, 1.5, 1.5)

[PointName1, PointName2, ret] = SapModel.FrameObj.GetPoints(FrameName3, PointName1, PointName2)
PointLoadValue = [0, 0, -4, 0, -17, 0]
ret = SapModel.PointObj.SetLoadForce(PointName2, 'Live2', PointLoadValue)
ret = SapModel.FrameObj.SetLoadDistributed(FrameName2, 'Live2', 1, 11, 0, 1, 2, 2)
```

图 21 指定荷载

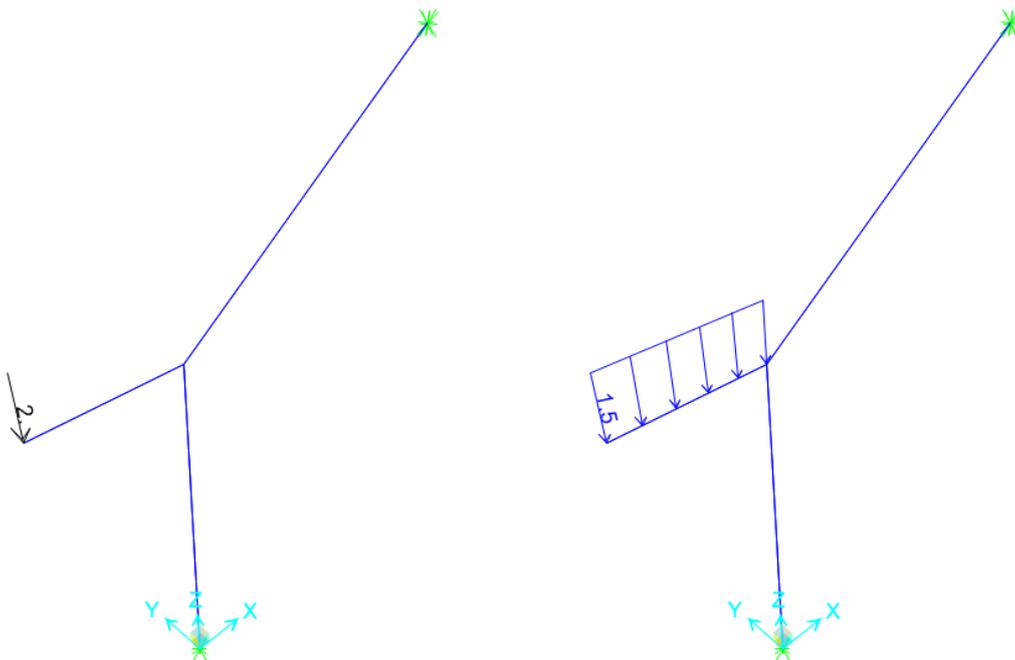


图 22 荷载显示

3.7 运行分析返回结果

保存建立的模型，并进行分析，在分析完成后提取工况下的位移结果。使用 `SapModel.Results.JointDispl` 函数得到节点位移结果，在输出位移结果前，要先用 `SapModel.Results.Setup.DeselectAllCasesAndCombosForOutput` 函数，清除设置的荷载工况，使用 `SapModel.Results.Setup.SetCaseSelectedForOutput` 函数设置要输出结果的荷载工况，再使用节点位移函数输出结果。输入如图 23 所示代码，保存建立的模型，并运行分析，分析完成后读取某一节点所有工况的位移，并显示。

节点位移打印结果如图 24 所示，与 SAP2000 表格中输出的结果一致。



```

ret = SapModel.File.Save('d:\\frameAPI.sdb')
ret = SapModel.Analyze.RunAnalysis()

SapResult = [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0]
[PointName1, PointName2, ret] = SapModel.FrameObj.GetPoints(FrameName2, PointName1, PointName2)
LoadCaseS = []; NumberNames = 0
[NumberNames, LoadCaseS, ret] = SapModel.LoadCases.GetNameList_1(NumberNames, LoadCaseS, 1)

for i in range(0, NumberNames):
    NumberResults = 0; Obj = []; ElM = []
    ACASE = []; StepType = []; StepNum = []
    U1 = []; U2 = []; U3 = []
    R1 = []; R2 = []; R3 = []
    ObjectElm = 0
    ret = SapModel.Results.Setup.DeselectAllCasesAndCombosForOutput()
    ret = SapModel.Results.Setup.SetCaseSelectedForOutput(LoadCaseS[i])
    [NumberResults, Obj, ElM, ACASE, StepType, StepNum, U1, U2, U3, R1, R2, R3, ret] = SapModel.Results.JointDispl(
        PointName2, ObjectElm, NumberResults, Obj, ElM, ACASE, StepType, StepNum, U1, U2, U3, R1, R2, R3)
    print("工况:", LoadCaseS[i], "节点:", PointName2, "位移:", U1, U2, U3, R1, R2, R3)

```

图 23 运行分析提取结果

```

工况: DEAD 节点: 3 位移: (0.0,) (0.0,) (-0.0002748965509238543,) (0.0,) (0.00016059075694299427,) (0.0,)
工况: Live 节点: 3 位移: (0.0,) (0.0,) (3.53624948557006e-05,) (0.0,) (3.5364207820795507e-06,) (0.0,)
工况: Live2 节点: 3 位移: (0.0,) (0.0,) (1.2853971193319009e-05,) (0.0,) (0.00013503060493833926,) (0.0,)

```

图 24 结果打印

	Joint Text	OutputCase	CaseType Text	U1 m	U2 m	U3 m	R1 Radians	R2 Radians	R3 Radians
▶	3	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000275	0	0.000161	0
	3	Live	LinStatic	0	0	3.5E-05	0	3.536E-06	0
	3	Live2	LinStatic	0	0	1.3E-05	0	0.000135	0

图 25 SAP2000 表格结果

4 与 VBA 对比

VBA 不需要单独的安装，相对于专业的开发软件，简单易学，了解基本的语法后，就可以编写代码，如参数化建模，结果处理等。VBA 可以在不同的软件中集成，如 Word、Excel 等。当用于结果处理时，在 Excel 中进行开发，将数据提取到 Excel 表格，使用 Excel 函数对数据进行处理，输出图表等，便于结果的提取与处理。

Python 支持调用各种库文件，实现 COM 组件的调用、结果处理、图形显示等。Python 语言简单易学，通过加载库文件，实现各种类型的计算，对于建模、结果读取等方便快捷。但 Python 编写的代码运行速度较低，如果有大量的数据计算，可以将核心的计算部分使用 C++ 语言编写来提高运行效率。

5 结束语

Python 代码易于编写与理解，新手也容易上手。在了解 Python 语言特点和熟悉 SAP2000 的操作后，就可以通过 API 编写实用的工具，将日常工作中繁琐的处理工作简单化，提高工作效率。

IDEA 与 ABAQUS 钢结构节点有限元分析对比

筑信达 张志国

针对钢结构节点的数值仿真分析，国内工程师多偏向于采用 ANSYS 或 ABAQUS 等传统的通用有限元软件。以 ABAQUS 为例，该软件具有强大的线性和非线性分析功能，计算速度快、计算精度高、适用范围广，尤其擅长处理复杂的非线性接触问题。但是，由于 ABAQUS 并非专业的建筑结构分析与设计软件，往往也存在门槛高、上手难、学习成本大的特点。

作为一款全新的专业的钢结构节点分析与设计软件，IDEA 采用基于结构构件和加工操作的流程化建模以及基于组件的有限元模型（CBFEM），在数分钟之内即可完成建模、加载、分析、校核以及输出报告等各项工作。截至 2021 年底，IDEA 进入中国市场已三年有余，但部分用户对软件计算结果的可靠性仍心存疑虑。鉴于此，本文以图 1 所示的梁柱抗剪连接的钢节点为例，通过对比 ABAQUS 与 IDEA 的操作流程和计算结果，验证 IDEA 软件的高效性和可靠性。

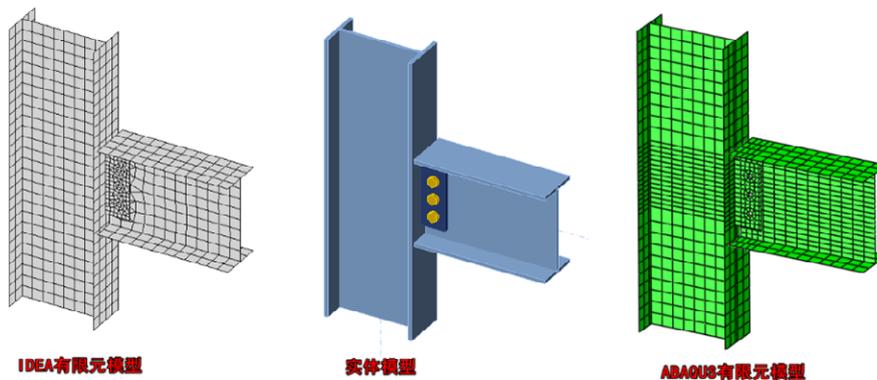


图 1 梁柱抗剪连接的钢结构节点

1 计算模型

本例中的梁和柱均采用 H 型钢轧制截面 H400x200x12x16，如图 2（左）所示。此外，连接板的厚度为 20mm，螺栓直径为 24mm，连接板的平面尺寸、螺孔直径以及螺栓的间距、边距和端距，如图 2（右）所示。

梁、柱、连接板的钢材牌号为 S355，螺栓的性能等级为 10.9 级，连接板与柱翼缘之间采用等强连接的对接焊缝。假设柱顶和柱底为固定约束，作用于梁端的剪力和弯矩分别为“100kN 和 55kN·m”或“400kN 和 220kN·m”。

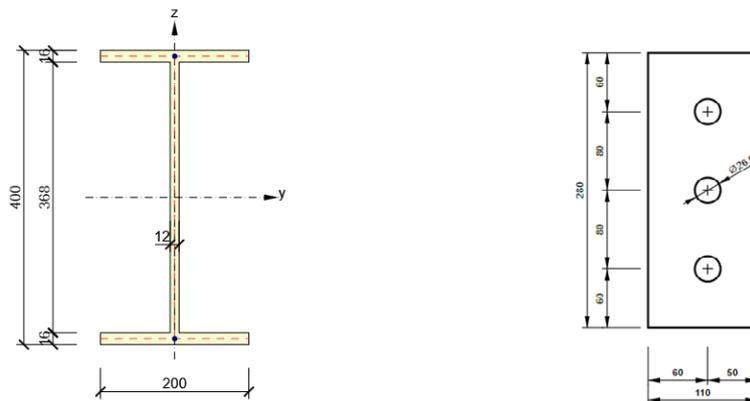


图 2 梁柱截面与连接板的几何尺寸

1.1 IDEA 操作流程

利用几何建模向导依次选择“梁柱节点→工字钢截面→抗剪连接”，同时在参数设置中选择钢材牌号为 S355、螺栓的直径和性能等级为 M24 10.9，如图 3 所示。

在创建初始模型后，用户需要重新定义梁柱截面，修改连接板的厚度、尺寸和焊缝类型，调整螺栓的数量、间距和边距，最后添加并修改荷载数值，点击【计算】按钮。上述全部操作在二十分钟内即可完成，计算结果除板件的应力/应变以及螺栓的拉力/剪力外，还包括各个螺栓的抗拉、抗剪以及承压承载力的校核。

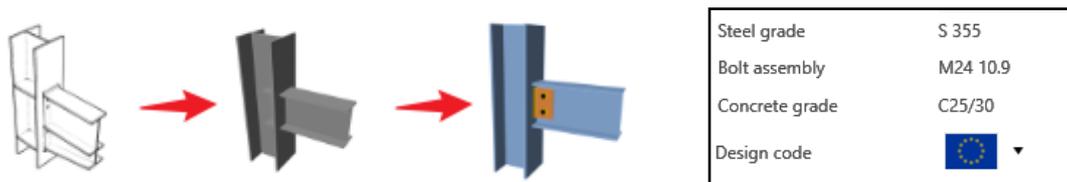


图 3 IDEA 几何建模向导

1.2 ABAQUS 操作流程

首先，根据构件的轴向长度和截面尺寸分别创建“梁”部件和“柱”部件，单元类型选用减缩积分的三维壳单元 S4R 和一阶的三维梁单元 B31。由于梁腹板和连接板的螺栓孔会影响有限元网格的质量，本例利用基准面和切割工具尽量简化几何拓扑关系，完成后的装配体及有限元网格如图 4 所示。

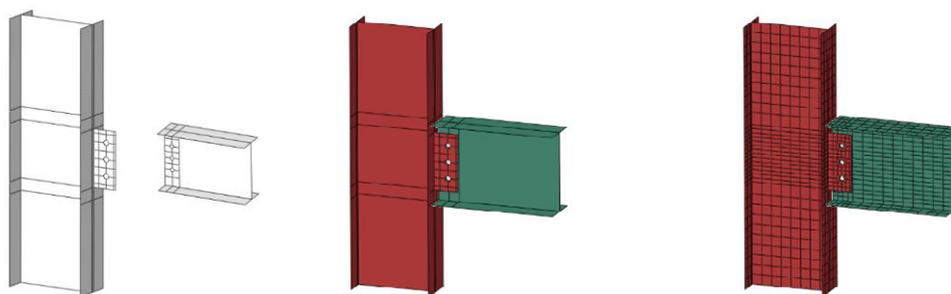


图 4 ABAQUS 几何建模与网格剖分

其次，定义非线性的钢板材料 S355 和螺栓材料 M24 10.9，前者采用理想弹塑性本构模型，后者采用考虑屈服后硬化的双折线弹塑性本构模型。除此之外，定义厚度分别为 12mm，16mm 和 20mm 的三个壳截面和半径为 12mm 的圆形梁截面，壳截面依次对应于梁柱的腹板、翼缘和连接板，梁截面对应于螺栓的螺杆。

然后，在梁端截面的形心处创建参考点并定义耦合约束，用于引入平截面假定和施加剪力和弯矩值。同理，在螺栓孔的中心及其周边依次定义六个耦合约束，用于模拟螺栓头或螺母与钢板之间的连接，此处的耦合约束应排除沿螺栓孔径向的平动自由度，以便后续添加接触单元模拟螺杆与板件的承压接触。

最后，以主从表面的方式定义连接板与梁腹板之间的面-面接触，以间隙单元 GAPNIT 定义螺杆与板件之间的点-点接触，如图 5 所示。由于 ABAQUS CAE 的界面操作不支持定义间隙单元，本例先定义连接器（Connector）单元，后续在输入文件（xxx.inp）中修改单元类型。

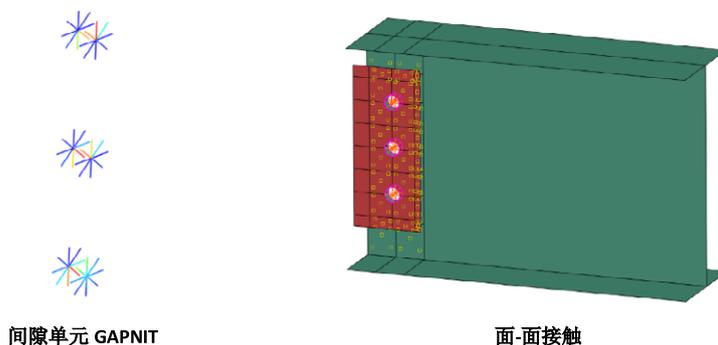


图 5 ABAQUS 中定义的接触关系

在以上操作中，几何建模和网格划分占用的时间最长，尤其在修改模型时往往“牵一发而动全身”。面-面接触和点-点接触的定义比较繁琐，需要多次摸索和迭代计算。笔者近十年来较少接触 ABAQUS，完成该模型并调试成功花费了整整三个工作日。

2 计算结果

2.1 弹性阶段

当梁端剪力和弯矩分别为 100kN 和 55kN·m 时，钢节点处于弹性工作阶段。如图 6 所示，IDEA 和 ABAQUS 的整体等效应力

力云图和局部变形图（50倍放大）基本一致，最大应力均出现在螺栓孔附近。IDEA 和 ABAQUS 在连接板的螺栓孔附近的最大应力分别为 114MPa 和 104MPa，二者相差约 10%，该差异与壳单元的形状和尺寸以及局部的应力集中有关。

此外，IDEA (ABAQUS) 计算的三个螺栓剪力自上至下依次为：33.1kN (32.5kN)，33.3kN (33.2kN) 和 33.6kN (34.3kN)，二者误差不足 3%。

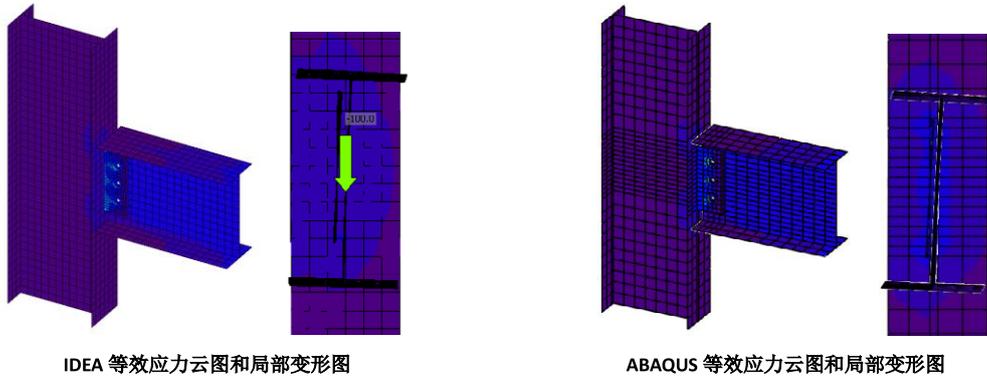


图 6 弹性阶段对比：IDEA vs ABAQUS

2.2 弹塑性阶段

当梁端剪力和弯矩分别为 400kN 和 220kN·m 时，钢节点处于弹塑性工作阶段。如图 7 所示，IDEA 和 ABAQUS 的整体等效应力云图和局部变形图（10倍放大）基本一致，塑性区均出现在板件承压变形的螺栓孔附近。IDEA 在螺栓孔附近和连接板与柱翼缘交线处的应力均大于 ABAQUS。

需要说明的是，IDEA 中连接板与柱翼缘之间的连接采用插值约束，二者在交界处并非共用节点；ABAQUS 采用灵活的切割操作和网格控制，可以保证二者在交界处共用节点，提高计算精度。从这一点来讲，ABAQUS 的处理方式更加合理，但几何切割和网格剖分的相关操作往往需要花费更多的时间和精力，IDEA 基本上无需用户干预即可自动完成网格剖分。

此外，IDEA (ABAQUS) 计算的三个螺栓剪力自上至下依次为：132.4kN (130kN)，133.2kN (132.9kN) 和 134.4kN (137.1kN)，二者误差不足 1%。

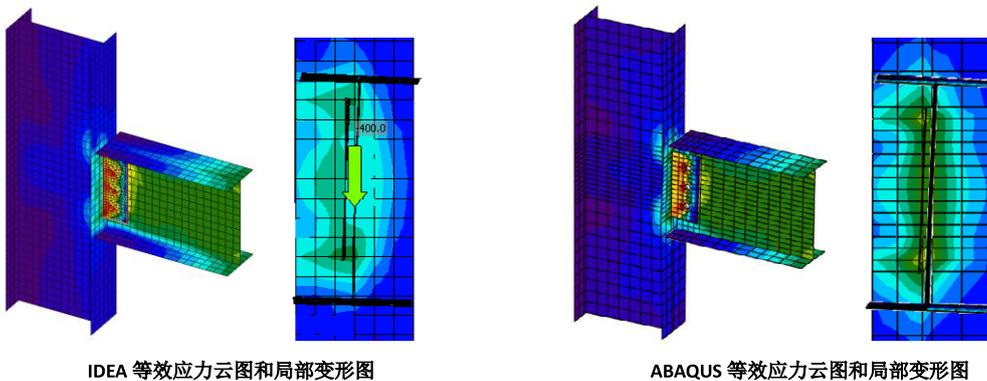


图 7 弹塑性阶段对比：IDEA vs ABAQUS

3 总结

IDEA 采用自动化程度更高的几何建模和网格剖分，在局部尤其是螺栓孔附近的应力计算精度略低。但需要说明的是，IDEA 对板件开孔处的承载力校核并非直接采用计算应力，而是基于各国设计规范中关于螺栓承压承载力的计算公式，故无需以加大网格密度或改善单元形状的方式来提高应力计算精度。

ABAQUS 可以完成更加精细化和复杂化的有限元分析，通用性也更强。例如：采用实体单元可以分析螺栓球节点或铸钢节点，定义混凝土材料的本构模型可以分析型钢混凝土节点或钢管混凝土节点。但是，ABAQUS 在操作上稍显繁琐，包括几何建模、网格剖分、接触识别、耦合约束在内的各种操作可能会花费十倍甚至百倍于 IDEA 的工作时长，这一点在修改节点设计方案时更加明显。此外，ABAQUS 仅限于有限元分析，无法根据各国设计规范对螺栓、焊缝、锚栓等组件进行承载力校核。

简而言之，针对钢结构节点的有限元分析，IDEA 专业性更强，省时省力，更适合工程应用；ABAQUS 通用性更强，耗时耗力，更适合科研工作。

地下水渗流的边界条件

筑信达 郭晓通

岩土工程中经常涉及地下水的渗流分析，如基坑的降水、边坡的降雨入渗、真空预压法的排水固结、坝前的库水位升降等等。PLAXIS 可以处理稳态-瞬态情况下各类饱和、非饱和土层中的达西流问题。可只进行渗流分析；可在变形分析中通过稳态渗流分析来生成模型孔隙水压力分布；也可以进行渗流、变形的全耦合分析。

地下水渗流分析的关键点在于渗流的边界条件。一般来说，渗流边界条件总体可分为三类，分别为水头边界、流量边界以及二者的混合。PLAXIS 中提供了多种渗流边界条件类型及定义途径，本文主要介绍这些与渗流相关的边界条件及其在典型渗流问题上的应用。

1. PLAXIS 中的渗流边界条件

1.1 “模型条件”中的渗流边界条件

PLAXIS 程序中具有默认的变形、渗流、动力等边界条件，用户可以在“模型浏览器”中的“模型条件”下进行查看、调整。默认的地下水渗流边界条件为：模型底面（ZMin）上所有节点的流动“关闭”，模型侧面（XMin、XMax、YMin、YMax）及顶面（ZMax）上所有节点的流动“打开”。

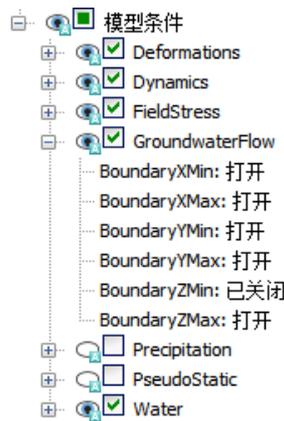


图 1 默认的地下水渗流边界条件

“打开”，即该边界上允许发生渗流。此外，如果该线/面上无其它渗流边界条件，所有节点的渗流边界条件为 $h = \text{高程 } z$ 。如果该线/面上被施加了或是由水位定义了一个外部水头边界 h' ，则高程小于外部水头 h' 的所有节点，其边界条件为水头边界 $h = h'$ ；高程大于外部水头边界 h' 的所有节点，其边界条件为流量 $Q = 0$ 且水头 $h = \text{高程 } z$ 。

“关闭”，即线/面上不允许发生渗流， $Q = 0$ 。

在默认边界条件中还会提供快捷的降雨边界（Precipitation）。降雨边界是一个混合边界条件，参数 q 为降雨量，用户可以定义其时间相关性，如果 q 值为负，即为蒸发。参数 ψ_{\min} 和 ψ_{\max} 分别是最小和最大的孔隙压力水头，默认分别为 -1 和 0.1 单位长度。降雨情况下，当边界上某点的孔隙压力水头达到 $z + \psi_{\max}$ 时，土体达到饱和，降雨入渗停止，模型边界条件从流量边界 $Q = q$ 转换为水头边界 $h = z + \psi_{\max}$ ；蒸发情况下，当边界上某点的孔隙压力水头低于 $z + \psi_{\min}$ 时，蒸发停止，模型边界条件从流量边界 $Q = q$ 转换为水头边界 $h = z + \psi_{\min}$ 。

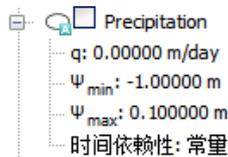


图 2 模型条件中的降雨边界

1.2 地下水渗流线/面边界条件

“模型条件”中的渗流边界条件只针对外部边界，而结构模式下允许用户对模型中的任意线（2D）或任意面（3D）定义

其地下水渗流边界条件属性。



图 3 地下水渗流线/面边界条件

地下水渗流线/面边界条件共分为六种。分别为“渗漏”、“已关闭”、“水头”、“流入”、“流出”、“渗透”。

“渗漏”与默认边界条件中的“打开”含义相同。

“已关闭”与默认边界条件中的“关闭”含义相同。

“水头”边界允许用户定义线/面上的总水头 h 。

“流入”和“流出”为流量边界，允许用户定义线/面上的流量 $Q=q$ （流入）或 $Q=-q$ （流出）。

“渗透”边界与“模型条件”中的降雨边界含义相同，主要用于入渗/蒸发的分析。

1.3 水力单元

PLAXIS 中提供了两种水力单元，分别为井和排水线/面，用户可以在结构模式中进行创建。

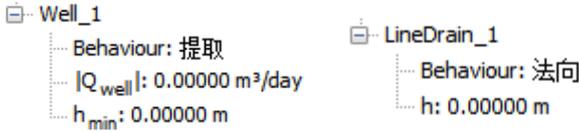


图 4 水力单元

井的行为分为抽水和回灌， $|Q_{well}|$ 代表井单元上的最大流量值。井穿越的土层的渗透系数决定了井上的最大流量 Q ，当 $|Q_{well}| > Q$ 时，井的实际流量为 Q ，当 $|Q_{well}| < Q$ 时，井的实际流量为 $|Q_{well}|$ 。 h_{min} 是井上最小的地下水水头，当井的水头降低到 h_{min} 以下时，抽水/回灌停止。

排水线/面单元是一个以降低土层内部孔隙水压力为目的的水力单元，常用在排水固结分析中。排水线/面上所有节点的总水头值均为输入值 h 。排水线的行为包括常规和真空两种，当其行为选择真空时，水头值低于 h 的土层同样会受到排水线/面的影响（模拟真空预压行为）。

1.4 界面单元

界面单元除了用于定义材料之间的接触特性外，也可以参与渗流计算。

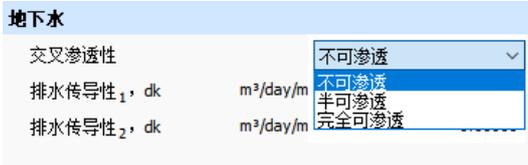


图 5 界面单元的渗透性

地下水在界面单元上的流动包括两部分，穿越界面的流动和沿着界面的纵向流动，沿着界面的纵向流动可以用排水传导性定义，其含义为单位时间单位宽度的界面上流过的水的体积。单位为 $m^3/day/m$ 。1 和 2 分别对应不同的局部轴方向（3D）。

穿越界面的流动与界面单元的交叉渗透性有关，分为“不可渗透”、“半可渗透”、“完全可渗透”三种，默认为“不可渗透”。“不可渗透”表示地下水无法穿越界面；“完全可渗透”表示地下水可以直接穿越界面；“半可渗透”允许用户定义地下水穿越界面过程中的水力阻力，水力阻力的定义方式为界面的实际厚度除以界面的渗透系数，即 d/k ，用时间单位表示。

1.5 水位及“干”条件

水位线/面与水力条件（water condition）常被用来生成模型中的孔隙水压力分布。而水位线/面及水力条件中的“干”选项也可以作为边界条件参与地下水渗流的计算。

在渗流分析中，水位会自动定义其与模型边界交界位置处的外部水头边界。如图 6 所示，该水位线定义了四个外部常水

头边界条件 h1-h4。

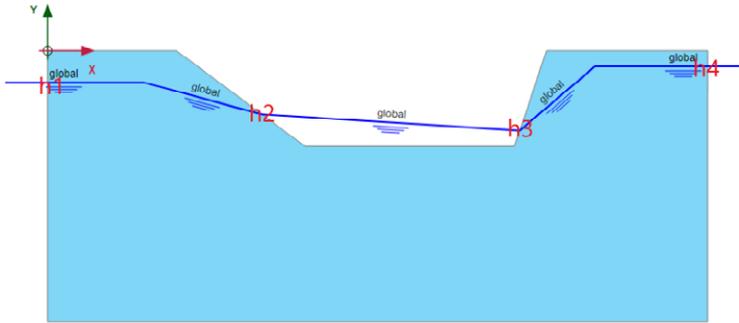


图 6 由水位线定义外部水头条件

水力条件中的“干”与土层类型中的“非多孔”类似，表示土层中没有孔隙水压力，而“干”选项也可以在渗流计算中作为一个隔水边界。注意，其它水力条件，如“全局水平”、“水头”、“内插”等均不参与渗流计算。

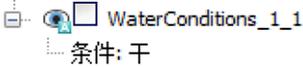


图 7 水力条件中的“干”条件

2. 渗流边界条件的灵活应用

2.1 模拟悬挂式止水帷幕的基坑降水

对于悬挂式止水帷幕的基坑降水，本质上，该问题应该是群井的抽水问题，需要在土层中定义井单元或定义模型内部的流量边界。但很多时候，我们会对该问题进行简化。常用的方法是定义水头边界通过稳态渗流分析来模拟降水过程中的地下水渗流状态。

对于这种方法，除用界面单元模拟止水帷幕的隔水特性外，关键点在于定义一个外部水头边界 h =全局潜水位，一个内部水头边界=降水后的坑底水位。图 8 所示三种方式均为基坑降水的分析模型，且三种方法具有相同的结果。

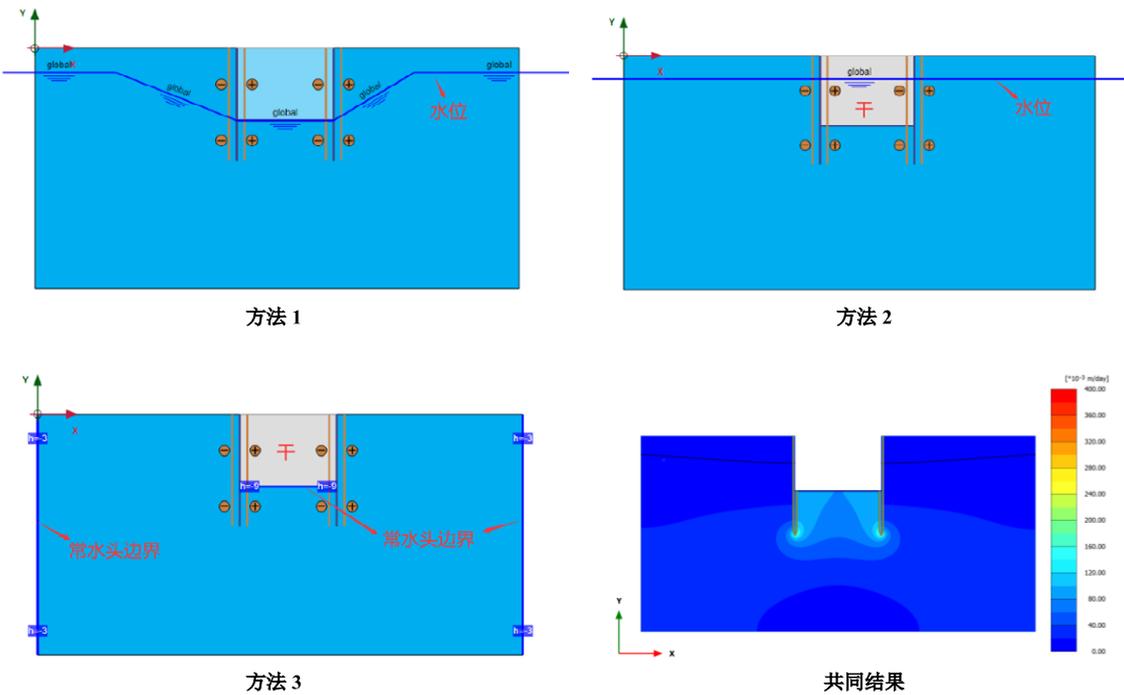


图 8 三种悬挂式帷幕降水的设置方法及共同的结果

对比三种方法，

方法 1：用水位线模拟外部与内部的水头边界。

方法 2：用水位线模拟外部水头边界，开挖+“干”条件模拟内部水头边界。

方法 3：“渗流线/面边界条件”定义外部水头边界，开挖+“干”+“渗流线/面边界条件”定义内部水头边界。

一般来说，更快捷的方法是方法 1 和 2，在 PLAXIS 3D 中，由于水位面定义相对复杂，所以方法 2 为首选方法。方法 3 中，用户可以通过改变 h 值来自定义坑内的降水效果，如降水到坑底以下 0.5m、1m。

2.2 模拟库水位的升降

库水位的升降问题，其特征在于坝前具有一个时间相关的水头边界，坝后具有一个常水头边界。

PLAXIS 中，水位线/面中的任意水平段可以定义其时间相关性，一种常用的做法是通过水位来定义。如图 9，水位线的红色部分定义了模型坝前一侧时间相关的外部水头边界，蓝色水平段定义了坝后一侧的常水头边界。

通过地下水渗流线/面边界条件来定义同样可行（图 10）。注意，选中模型整个右侧轮廓线与只选中右侧轮廓线-5m 以下的位置来定义-5m 的外水头边界，二者是完全等效的。

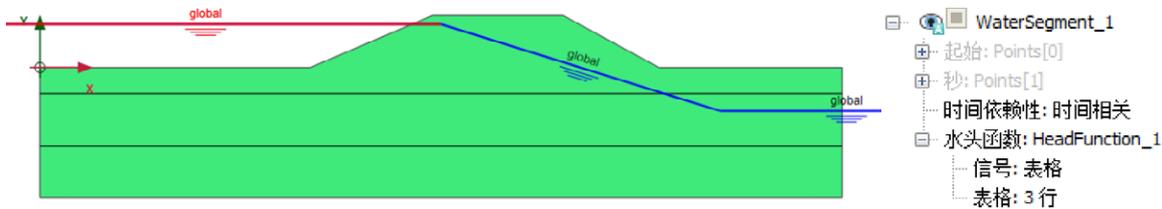


图 9 库水位升降问题的设置方法一

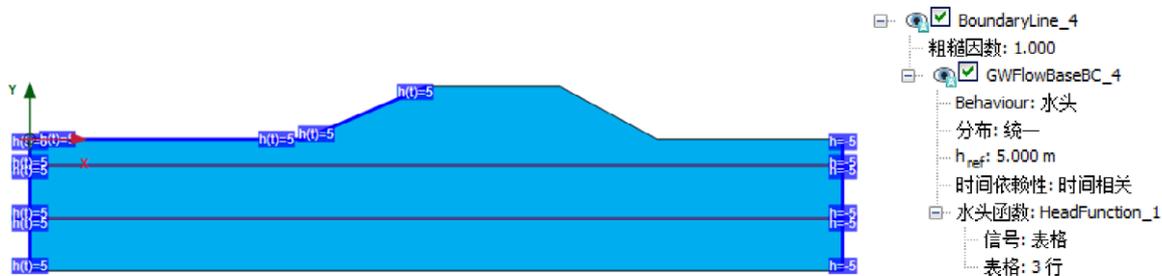


图 10 库水位升降问题的设置方法二

3. 小结及注意事项

将工程渗流问题转化为渗流分析模型的过程中，关键的点在于如何去定义渗流的边界条件，所以掌握 PLAXIS 中各类渗流边界条件的含义及定义方式尤为重要。同时，同一个渗流问题往往又可以有多种方式来定义其边界条件特性，用户应针对具体问题选择更为熟悉的、更简便的定义方法。

除此以外，在渗流分析中，用户应注意的点包括：

(1) 除了第一章中列出的渗流要素外，其它任何单元/条件均不参与渗流计算，如板、土工格栅等结构单元、除“干”外的任何水力条件。

(2) 地下水的渗流分析往往比岩土体的变形分析需要更细的网格密度，更大边界范围。

(3) 对于特定的不收敛问题，用户应考虑：1、边界条件定义是否有误；2、网格密度是否满足计算要求；3、渗透系数差异是否过大；4、渗流计算步数是否不够；5、模型几何轮廓能否简化。此外，计算机性能也会影响渗流分析收敛性。

工程应用常见问题 案例解析

壳单元的应力平均化

本案例主要介绍壳单元的应力平均化对图形显示结果的影响以及如何正确合理地设置“应力平均”选项来查看应力或内力云图。

使用软件/SOFTWARE

SAP2000 v23.3.0

模型简介/MODEL

如图 1 所示，某地面式双格矩形敞口水池的池高为 5m，单格矩形底板的尺寸为 2.55m×2.15m，底板和壁板的厚度均为 200mm。静水容重取 10kN/m^3 ，底板静水压力为 50kN/m^2 ，壁板静水压力为沿高度线性分布的三角形荷载，即： $0\sim 50\text{kN/m}^2$ 。

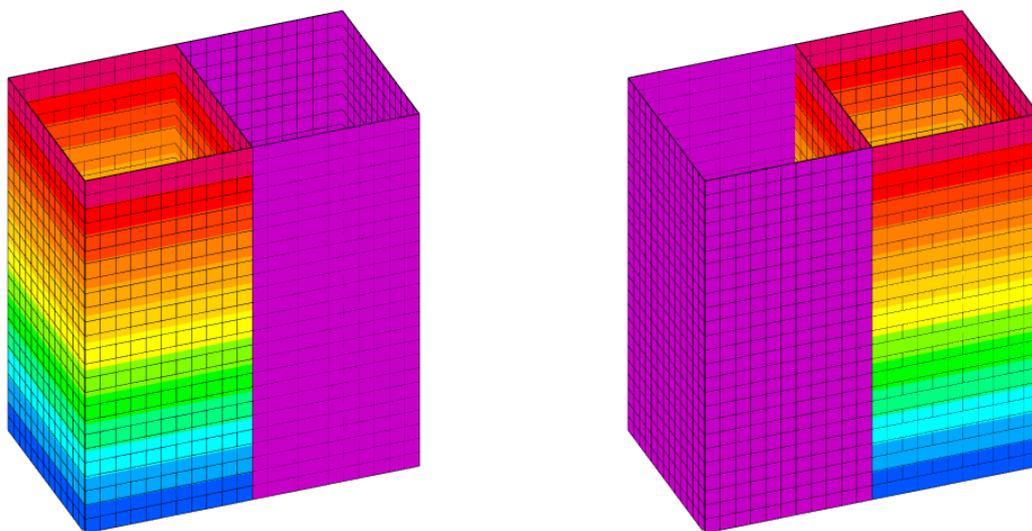


图 1 双格矩形水池及其静水压力示意图

问题描述/PROBLEM

如图 2（左）所示，在应力平均选项中勾选“无”，已选节点处的最大弯矩 M_{11} 约为 $-11.4\text{kN}\cdot\text{m/m}$ ；如图 2（右）所示，在应力平均选项中勾选“全部节点”，已选节点处的最大弯矩 M_{11} 约为 $-4.8\text{kN}\cdot\text{m/m}$ 。请问，为什么壳单元的应力平均选项对内力云图的影响如此之大？在实际应用中，用户应该如何设置该选项来查看应力或内力云图呢？

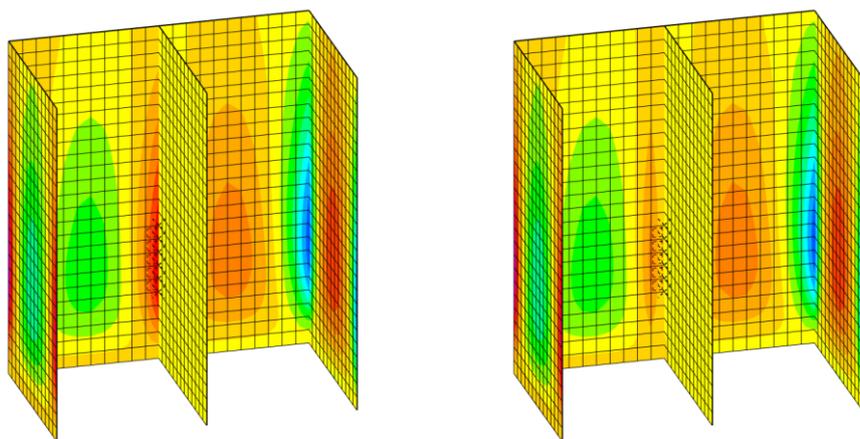


图 2 壳单元弯矩云图 M11: 无应力平均 (左) vs 应力平均 (右)

解决办法/SOLUTION

壳单元的应力平均选项可用于内力、应力或应变结果的图形显示。如图 3 (右) 所示, #1 节点从属于四个壳单元, 每个壳单元在该节点处均存在一个独立的内力、应力或应变值。以上四个数值未必相等但可能非常接近, 应力平均化就是基于这四个数值的平均值生成各种云图。注意, 此处的“应力”同时代表应力、内力和应变, 后续不再赘述。

应力平均选项为“无”代表不进行应力平均, 此时的应力云图可能会存在明显的突变或不连续, 这往往代表壳单元的网格密度需要进一步细化。因此, 该选项多用于判断壳单元的网格密度是否合适, 用户可根据需要指定或修改面对象的自动剖分选项。

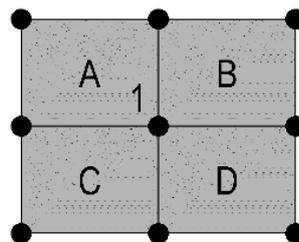


图 3 应力平均选项和单元&节点示意图

当壳单元的网格密度合适, 应力云图不存在明显的突变或不连续时, 勾选应力平均选项中的“全部节点”或“已选对象和对象组”可以忽略相邻壳单元在同一节点处的应力差异, 进一步减小应力误差并使应力云图更加光滑连续。因此, 应力平均化技术在有限元教材中也被称为“应力磨平”。

但是, 如果相邻壳单元的局部轴存在差异, 同一应力分量的实际作用方向会有所不同, 应力平均后反而会显示完全错误的结果。如图 4 所示, 本案例中的外壁板①的局部+1 轴水平向右, 外壁板②的局部+1 轴水平向左。在不进行应力平均时, 二者在交界处的弯矩“数值相近、符号相反”, 平均后的数值接近于零。在此基础上再考虑与外壁板垂直的内壁板, 三者平均化的弯矩值 (-4.8kN·m/m) 必然完全失真。

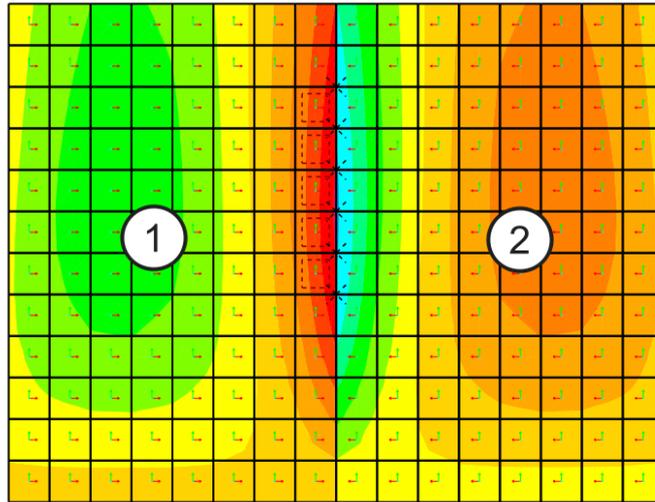
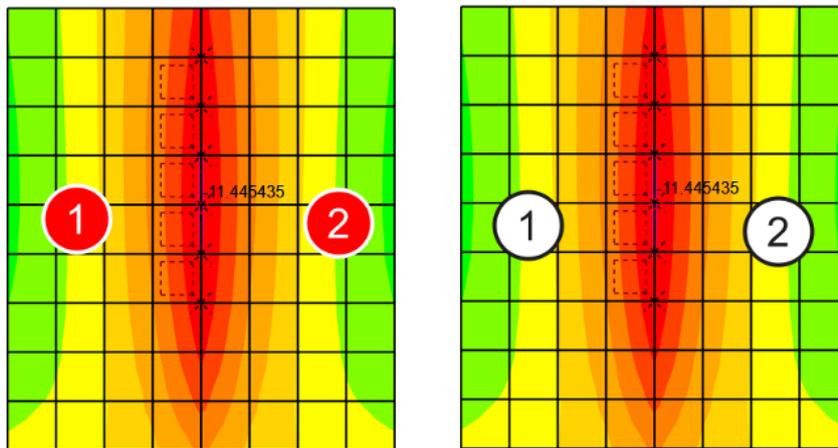


图 4 无应力平均的外壁板弯矩云图 M11

因此，用户在进行应力平均之前，应保证同一平面内的面对象具有完全相同的局部轴。至于不共面的面对象（如墙与板或坡道与楼板），由于二者无法具有完全相同的局部轴，通常建议每个面对象进行独立的应力平均，以此避免单元局部轴差异造成的统计错误。

如图 5 所示，如果外壁板①和②采用完全相同的局部轴，同时忽略内壁板的应力平均，此时的弯矩云图完全不受应力平均选项的影响，已选节点处的最大内力弯矩均为 -11.445435 。这也表明当前的网格密度适宜，无需进一步细化，推荐采用应力平均化的内力云图。



应力平均：已选对象和对象组

应力平均：无

图 5 外壁板采用相同局部轴的弯矩云图 M11

编写：张志国

钢构件稳定验算不通过

本案例主要介绍钢结构设计时可能遇到的稳定验算不通过的问题及处理办法。

使用软件/SOFTWARE

SAP2000 V23.3

模型简介/MODEL

某桁架结构如图 1 所示，采用新钢标进行钢结构设计。

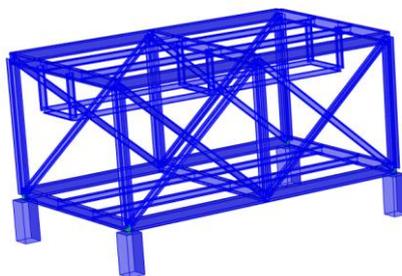


图 1 桁架

问题描述/PROBLEM

设计完成后发现支撑应力比超限，设计信息中却提示长细比超限，如图 2 所示。其原因是什么？

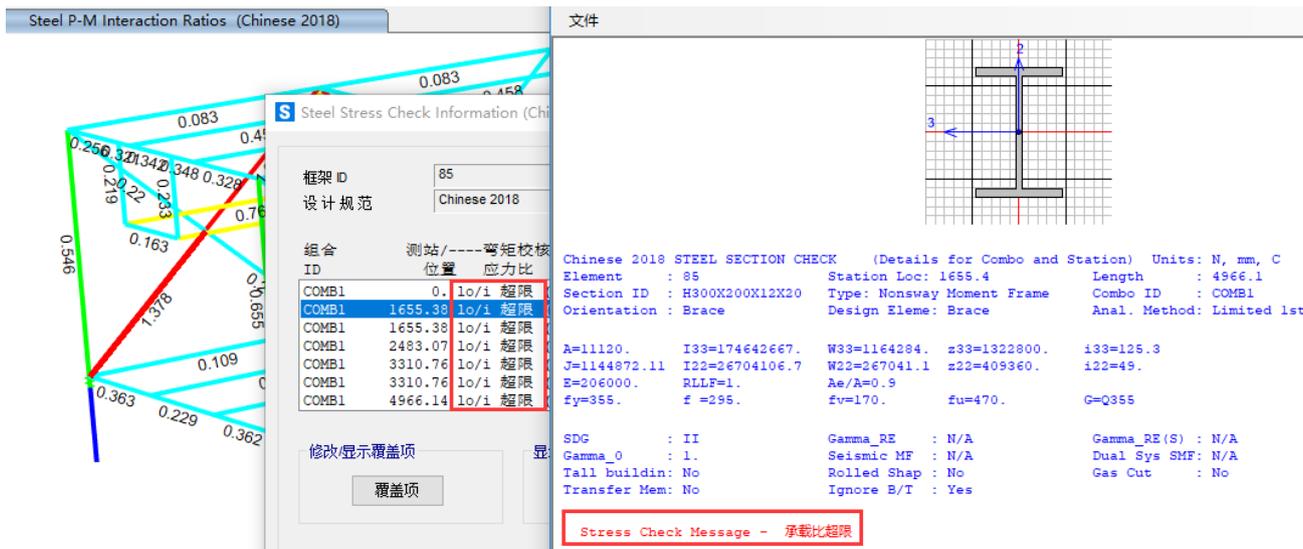


图 2 设计细节

解决办法/SOLUTION

对于非抗震构件的容许长细比，程序按新钢标 7.4.6 和 7.4.7 执行；对于抗震柱构件，程序按抗规 8.3.1 和高钢规 7.3.9 执行，支撑构件按抗规执行。点击细节，可以在 Slenderness Check 项中看到长细比较核相关信息，如图 3 所示，弱轴长细比为 202.681，超过长细比限值 200，所以状态为 Not OK，提示“长细比 lo/i 超限”：

Slenderness Check (GB50017 7.4.6, 7.4.7, GB50011 8.3.1, JGJ99 7.3.9, 7.5.4)				
	Mue+L/i	Lambda	Lambda (Sei)	Status
	Ratio	Limit	Limit	Check
Major Bending	39.627	200.	0.	Not OK
Minor Bending	202.681	200.	0.	Not OK
	长细比	长细比限值	长细比限值 (抗震)	

图 3 长细比验算细节

如图 4 所示，表 Axial Amplification Factor for Flexural Buckling 给出了根据新钢标附录 D.0.5 计算稳定系数的过程，查看可

知由长细比计算得到正则化长细比为 2.678，得稳定系数 φ 为 0.12。依据新钢标 8.2.5-2，稳定验算中轴力项应力比为 1.154，故总应力比超过 1，提示“应力比超限”：

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN

N-M33-M22 Demand/Capacity Ratio							
	Governing Equation	Total Ratio	N Ratio	MMajor Ratio	MMinor Ratio	Ratio Limit	Status Check
Strength	GB50017 8.1.1-1	0.211 =	0.154 +	0.016 +	0.041	1.	OK
Stability	GB50017 8.2.5-2	1.321 =	1.154 +	0.015 +	0.151	1.	Not OK

Stress Ratios --- Governing Section GB50017 8.2.5-2						
	Force/Moment	Actual Stress	Allowable Stress	Stress Ratio	Scale Factor	Scaled Ratio
Axial	-454247.6	40.85	295.	0.138	8.337	1.154
Major Bending	5685783.	4.88	295.	0.017	0.913	0.015
Minor Bending	-3908456.4	14.64	295.	0.05	3.045	0.151

Moment Modification						
	Factored Mf	Amplified Mamp1	Imperfect. e0/l	Additional Ma = e0*Nk	Adjusted Mamp1+Ma	Design Mdesign
Major Bending	5685783.	5685783.	0.	0.	5685783.	5685783.
Minor Bending	-3908456.4	-3908456.4	0.	0.	-3908456.4	-3908456.4

Euler Buckling Capacity and Related Moment Factor						
	Length Factor	Mue Factor	Lambda Ratio	Lambda_n Ratio	Euler Ne' Force (1-.8N/Ne')	1/Force
Major Bending	1.	1.	39.627	0.524	13088416.2	1.029
Minor Bending	2.	1.	202.681	2.678	500328.	3.654

Axial Amplification Factor for Flexural Buckling						
	Section Class	Lambda_n Ratio	Alpha1 Factor	Alpha2 Factor	Alpha3 Factor	Phi Factor
Major Bending	B	0.524	0.65	0.965	0.3	0.862
Minor Bending	C	2.678	0.73	1.216	0.302	0.12

正则化长细比 稳定系数

图 4 应力比验算细节

对于该类警告，用户可从以下方面解决：

1. 检查钢构件设计时选择的分析方法是否与模型参数设置相匹配，不匹配的分析方法将导致计算长度系数 μ 取值有误。关于各种分析方法对应的模型参数设置，可以参考教学操作短视频“[直接分析法](#)”、“[二阶分析法](#)”和“[一阶分析法](#)”；
2. 对于有多根杆件搭接的构件，程序可能无法准确判别其计算长度系数，用户可检查并通过覆盖项调整；

Euler Buckling Capacity and Related Moment Factor						
	Length Factor	Mue Factor	Lambda Ratio	Lambda_n Ratio	Euler Ne' Force (1-.8N/Ne')	1/Force
Major Bending	1.	1.	39.627	0.524	13088416.2	1.029
Minor Bending	2.	1.	202.681	2.678	500328.	3.654

计算长度系数

3. 对于特殊构件，用户可通过覆盖项自行设置杆件的受压/受拉长细比限值，非抗震和抗震限值均按此覆盖项执行，但是该操作只能消除长细比超限的警告；
4. 通过调整截面尺寸、增加支撑等方式，优化结构方案。

编写：刘慧璇

钢构件宽厚比验算不通过

本案例解析主要介绍钢结构设计时可能遇到的宽厚比验算不通过的问题及解决办法。

使用软件/SOFTWARE

SAP2000 V23.3

模型简介/MODEL

某栈桥结构如图 1 所示，构件截面采用 H 形截面，用新钢标进行钢结构设计。

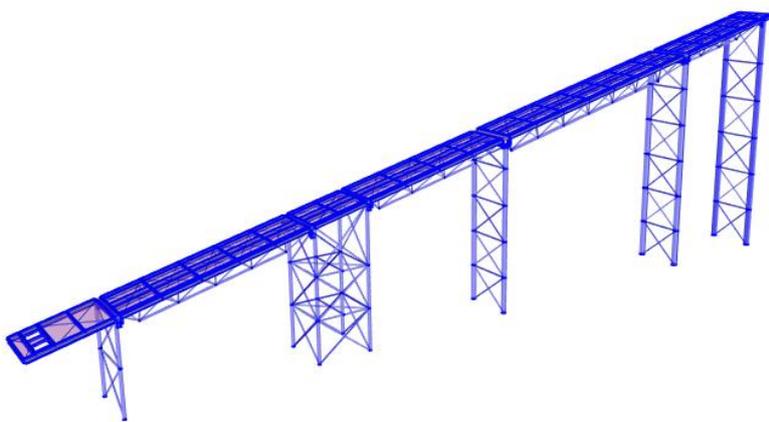


图 1 栈桥

问题描述/PROBLEM

设计完成后发现有的杆件提示“截面薄柔”，有的提示“抗震薄柔”，分别是什么含义？



图 2 杆件超限

解决办法/SOLUTION

这两个警告信息都与截面宽厚比有关。

1. 截面薄柔

根据新钢标 3.5，截面的板件宽厚比等级分为 S1、S2、S3、S4 和 S5 五个等级。对于 S5 级截面，腹板可能在边缘纤维屈服前发生局部屈曲，应尽量避免使用该类截面。当截面板件宽厚比判别为 S5 级时程序将给出“截面薄柔”

的警告，并在 Slenderness Check 项中给出不通过的提示。

对于 H 形截面的压弯构件，腹板宽厚比验算与腹板边缘应力比 α_0 有关。当 α_0 取 2 时，即为受弯构件的宽厚比限值。

构件	截面板件宽厚比等级	S1 级	S2 级	S3 级	S4 级	S5 级	
压弯构件 (框架柱)	H 形截面	翼缘 b/t $9\epsilon_k$	腹板 b_0/t_w $(33 + 13\alpha_0^{1.3})\epsilon_k$	$11\epsilon_k$	$13\epsilon_k$	$15\epsilon_k$	20
	箱形截面	壁板 (腹板) 间翼缘 b_0/t	$(38 + 13\alpha_0^{1.39})\epsilon_k$		$(40 + 18\alpha_0^{1.5})\epsilon_k$	$(45 + 25\alpha_0^{1.66})\epsilon_k$	250
	圆钢管截面	径厚比 D/t	$50\epsilon_k^2$	$70\epsilon_k^2$	$90\epsilon_k^2$	$100\epsilon_k^2$	—
受弯构件 (梁)	H 形截面	翼缘 b/t $9\epsilon_k$	腹板 b_0/t_w $65\epsilon_k$	$11\epsilon_k$	$13\epsilon_k$	$15\epsilon_k$	20
	箱形截面	壁板 (腹板) 间翼缘 b_0/t	$25\epsilon_k$	$32\epsilon_k$	$37\epsilon_k$	$42\epsilon_k$	—
	圆钢管截面	径厚比 D/t	$50\epsilon_k^2$	$70\epsilon_k^2$	$90\epsilon_k^2$	$100\epsilon_k^2$	—

图 3 宽厚比限值

程序验算时先判别构件的受力状态，构件受拉(T)时按受弯构件进行验算，此时 α_0 恒取为 2，如 Section classification parameters 项中所示。构件受压(C)时按压弯构件进行验算，此时程序读取截面边缘处应力值（详见 Table: Element Stresses – Frames），按新钢标 3.5.1 计算 α_0 ，并输出相关设计细节。当宽厚比超过 S4 截面限值，程序判别截面等级为 S5，如图 6 所示，并给出警告。

组合 ID	测站位置	弯矩校核	应力比	Major Bending	Minor Bending	Section classification (GB50017 3.5.1)							
DSTL36	6600.	0.	(T) =	1.05	1.	b/t	LambdaS1	LambdaS2	LambdaS3	LambdaS4	LambdaS5	Section Class	
DSTL37	0.	0.001(T)	= 0.0	1.2	1.	Ratio	Limit	Limit	Limit	Limit	Limit	Class	
DSTL37	337.5	0.056(T)	=			Flange	7.2	7.428	9.079	10.729	12.38	20.	Class S1
DSTL37	675.	0.11(T)	=			Web	41.	27.236	31.362	37.14	250.	Class S1	
DSTL37	755.	0.119(T)	=			Section classification Parameters (GB50017 3.5.1)							
DSTL37	755.	0.119(T)	=			Parameters	Epsilon_k	Sigma_diff	Sigma_max	Alpha_0			
							0.825	7.727E-04	-472.03	2.			

图 4 受弯构件宽厚比验算

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	Point Text	X2 m	X3 m	S11 KN/m2
456	6.6	DSTL38	Combination	2	-0.294	0	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	3	-0.294	0.15	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	4	-0.274	0	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	5	0.274	0	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	6	0.294	-0.15	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	7	0.294	0	-126.46
456	6.6	DSTL38	Combination	8	0.294	0.15	-126.46

图 5 构件应力

Section classification (GB50017 3.5.1)						
b/t	LambdaS1	LambdaS2	LambdaS3	LambdaS4	LambdaS5	Section Class
Ratio	Limit	Limit	Limit	Limit	Limit	Class
Flange	7.2	7.428	9.079	10.729	12.38	Class S5
Web	41.	27.236	31.362	37.14	250.	Class S5
Section classification Parameters (GB50017 3.5.1)						
Parameters	Epsilon_k	Sigma_diff	Sigma_max	Alpha_0		
	0.825	6.627E-04	126.463	5.240E-06		
		$\sigma_{max} - \sigma_{min}$	σ_{max}	α_0		

图 6 压弯构件宽厚比验算

桁架下弦主弯矩异常

本案例主要介绍采用 SAP2000 软件分析某钢结构人行天桥“桁架下弦主弯矩异常”的原因和解决方法。



使用软件/SOFTWARE

SAP2000 V23



模型简介/MODEL

某钢结构人行天桥的模型（图 1），上部桁架采用钢结构，一端支撑在混凝土柱上，一端支撑在混凝土框架上。

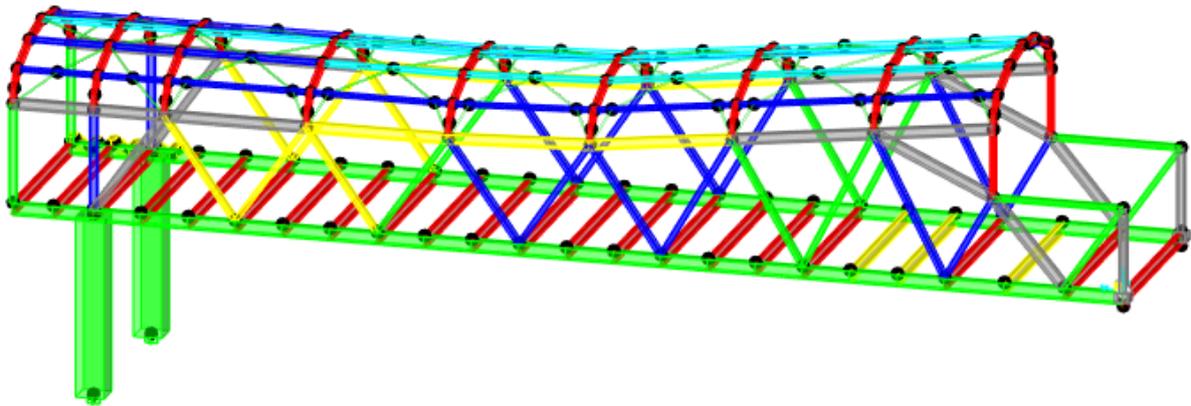


图 1 人行天桥的模型



问题描述/PROBLEM

天桥两侧主要受力桁架下弦杆，在恒、活载工况下的主弯矩在节点处有突变（图 2），即节点处的弯矩不平衡（图 3），但并未在节点处施加节点弯矩，请问是什么原因？

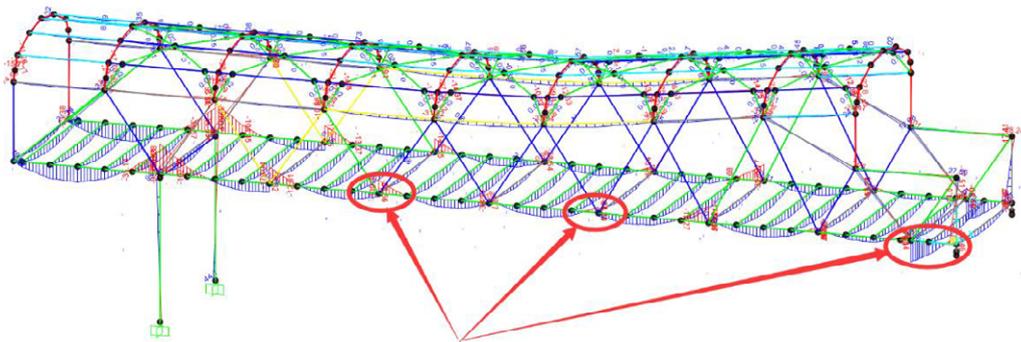


图 2 恒载作用下天桥各构件的主弯矩图（红线圈出节点为部分弯矩不平衡节点）

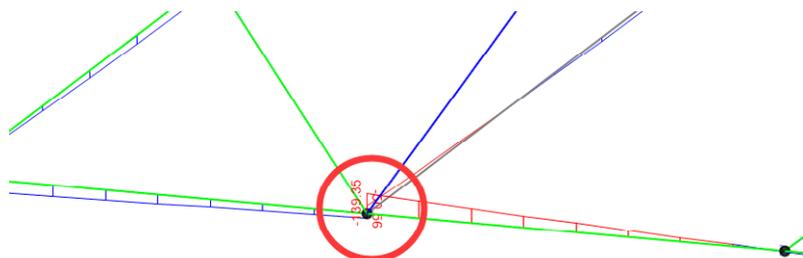


图 3 弯矩不平衡的某下弦节点



解决办法 / SOLUTION

查看模型的拉伸视图，会发现下弦杆件与腹杆不是杆件中心相交（图 4），其中下弦杆的插入点是在顶中节点，并且程序考虑了插入点的转换刚度（图 5），导致腹杆的轴力相对于下弦杆中心会产生一个附加弯矩，使得节点处的弯矩看似不平衡（图 3）。

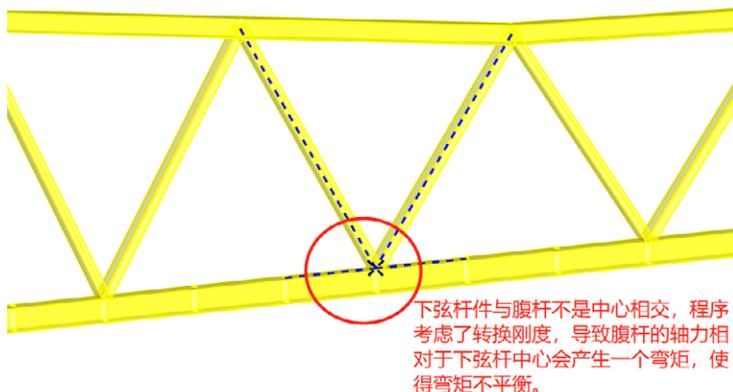


图 4 桁架拉伸视图

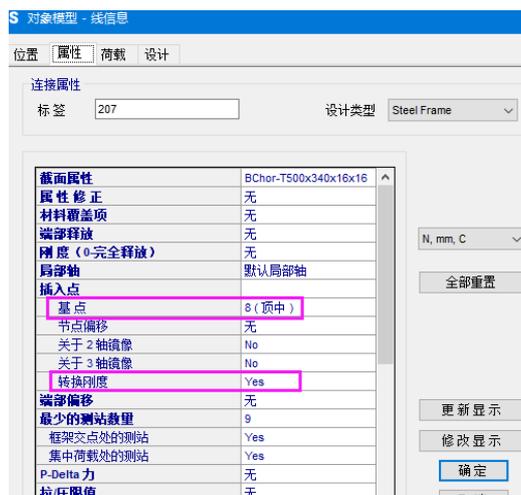


图 5 下弦杆插入点及转换刚度

一般进行桁架设计时，都会使得弦杆与腹杆中心相交（图 6），这样就能避免轴力导致的附加弯矩。对于本案例，选中所有下弦杆，点击命令【指定>框架>插入点】，如图 7 所示将插入点选择为 5（即杆件中心轴线会交于一点），则能得到节点弯矩平衡的结果（图 9）。当然，也可以不修改插入点基点，只勾选“非形心处（10）的插入点不改变框架刚度”选项（图 8），则程序计算时不会考虑轴力导致的附加弯矩，其分析模型等同于插入点为 5 时的模型，同样能得到图 9 的弯矩图。

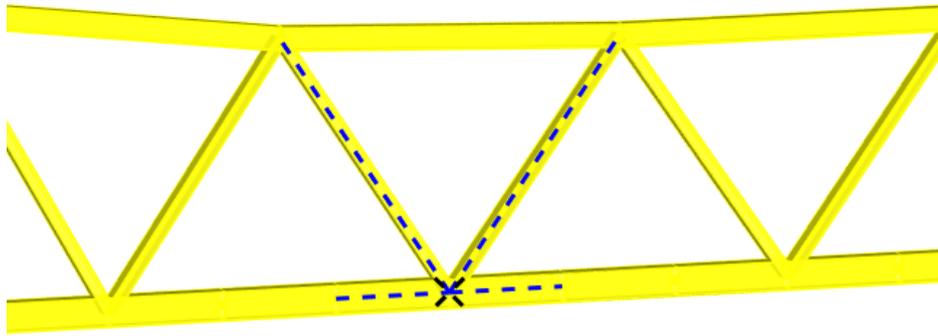


图 6 弦杆与腹杆中心会交示意图



图 7 修改下弦杆插入点



图 8 转换刚度设置

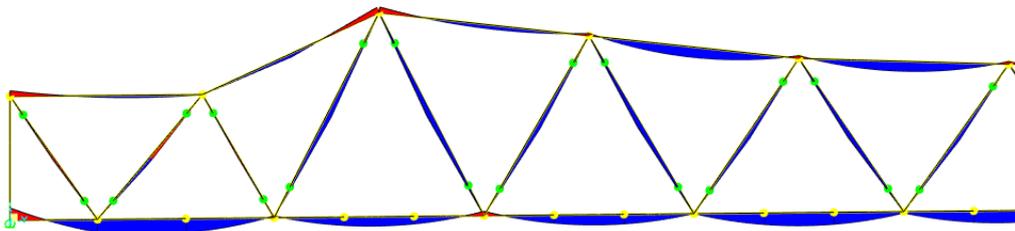


图 9 调整后的桁架弯矩图

关于更多插入点及转换刚度的介绍及相关案例，可参考如下链接：

1. [梁/板的默认插入点](#)
2. [插入点刚度与楼板挠度](#)
3. [插入点相关知识库](#)

编写：郑翔

钢塔应力异常

本案例主要介绍采用 SAP2000 软件分析某钢塔应力时，“中间塔应力异常”的原因及处理办法。

使用软件/SOFTWARE

SAP2000 v23

模型简介/MODEL

某 25m 高，底座呈半圆+矩形的异形塔（图 1、图 2），塔采用壳单元模拟，材料为 Q355B，壳厚度为 6mm，分为 4 节，各节之间用 body 约束连接，协调变形。



图 1 钢塔模型

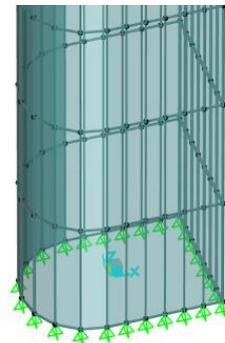


图 2 钢塔底座局部图

问题描述/PROBLEM

经过计算后发现，中间塔段应力异常，其应力数值只有 1N/m^2 左右，请问是什么原因导致的？

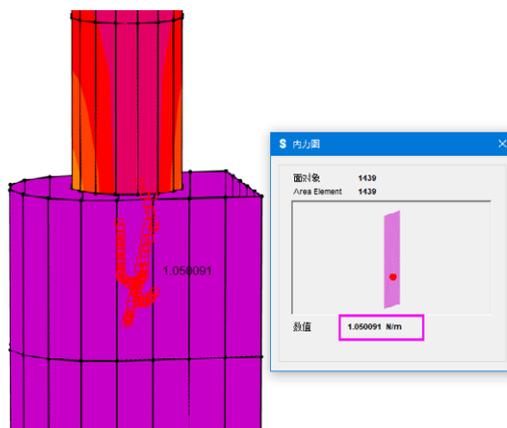


图 3 中间塔 MISES 应力数值异常

解决办法/SOLUTION

通过查看 body 约束的设置位置，可以发现本模型钢塔的不同节处施加了同一 body 约束（图 4），导致中间塔段的变形受到不正常的约束，即中间塔段无法产生正常的变形，从而导致中间塔 MISES 应力异常小。

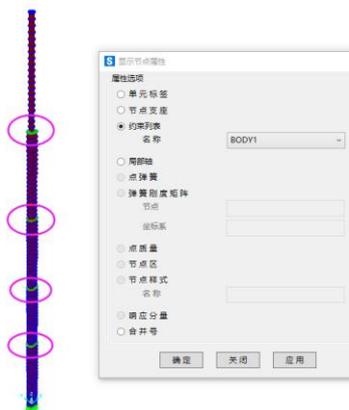


图 4 钢塔的不同节段处均施加 body1 约束



图 5 钢塔的不同节段处依次施加 body1、2、3、4 约束

在钢塔的不同节段处，依次施加 body1、2、3、4 约束，则 body 约束只约束同一标高位置的节点，从而钢塔可以正常变形，进而可以得到更合理的 mises 应力（图 6）。

但是，这种将同一标高处的两圈节点均指定为同一个 body 约束的做法，其实也不够合理，忽略了这两圈节点之间的面内变形。若想更精确的分析，可以将变断面处的节点用壳单元连接起来，用壳单元更准确地模拟不同节段位置面内的变形。

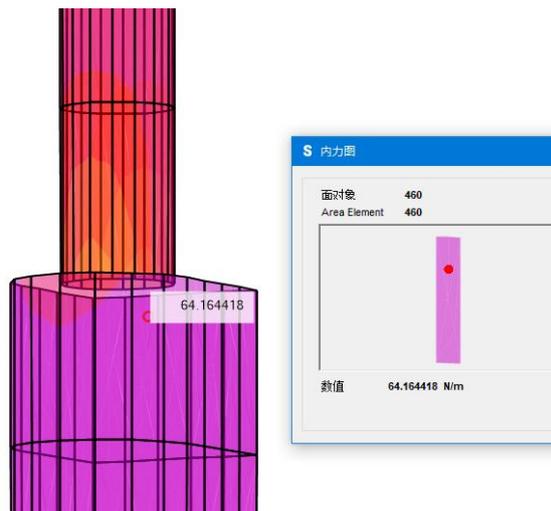


图 6 中间塔段 MISES 应力

关于更多节点约束的介绍及相关案例，可参考如下链接：

1. [Body 约束 vs Equal 约束](#)
2. [节点约束：Body vs Weld](#)
3. [节点约束相关知识库](#)

编写：郑翔

深基坑的地下水设置

案例主要介绍包含了承压含水层的基坑开挖地下水设置问题。

使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 2D CE V21

模型简介/MODEL

模型长 100m，土层厚 60m，地下水位高程为-1m，为一深基坑的开挖模型，开挖深度 24m，支护结构嵌入深度 39m，支撑类型为内支撑，采用锚定杆单元模拟。坑底以下两层土均为承压含水层，承压层的压力水头为 4m。

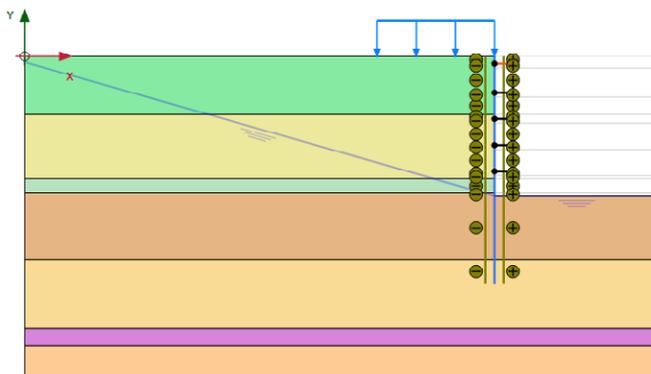


图 1 几何模型图

问题描述/PROBLEM

地下水设置出现了问题，如何进行模型中的基坑降水设置？

解决办法/SOLUTION

在 PLAXIS 中，对于深基坑的弹塑性变形分析往往对地下水进行简化，将基坑的降水问题简化成手动定义孔隙水压力分布或通过稳态的渗流场分析来定义孔隙水压力分布的问题。根据止水帷幕类型、水文地质条件的不同，基坑降水设置的方法也多种多样，但最终方法都是通过定义“水力条件”或通过进行稳态渗流计算来生成与实际情况近似的渗流场。

模拟本模型中基坑降水后的孔隙水压力分布，可以有两种解决思路：

方法一：采用水力条件来定义。

即手动指定各土层中孔隙水压力的分布。本方式的假设条件是含水层以上的隔水层阻断了隔水层以上及以下两层土的水力联系。具体为：承压含水层中可以其指定水力条件类型为“水头”，其值 H 等于承压层压力水头；坑内地下水位以上的的土层设置为“干”；承压含水层上下的隔水层设置为“内插”；其它土层水力条件设置为“全局水平”。

方法二：采用稳态渗流结合水力条件来定义。

本方式是通过渗流场分析来得到当前模型中的潜水位线，再基于该潜水位线来定义模型中的孔隙水压力分布。本方式的假设条件是承压水与表层潜水通过隔水顶板进行水力交换，从而影响了潜水位分布。

首先定义渗流边界条件进行仅渗流分析→稳态渗流场分析，模型左侧为常水头边界，承压含水层 H_1 为 4m，其余土层 H_1

设置为-1m；模型右侧为关闭（取的一半基坑）；坑底设置常水头边界 H2 为-24.5m。

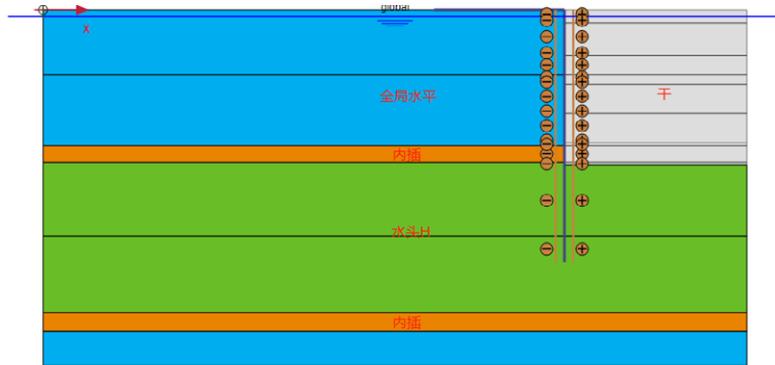


图2 定义土层的水力条件

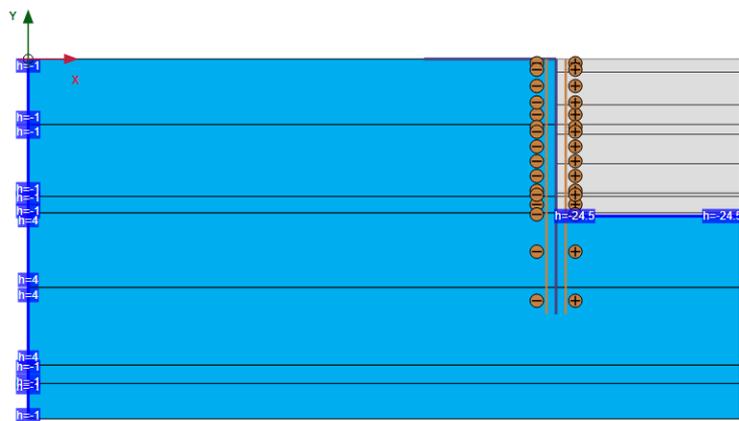


图3 定义地下水渗流边界条件

随后将渗流分析得到的潜水位结果储存，并导入新的弹塑性分析模型中，在弹塑性分析模型中，选择孔压计算类型为潜水位，并按方法 1 中的水力条件设置方法定义其水力条件。

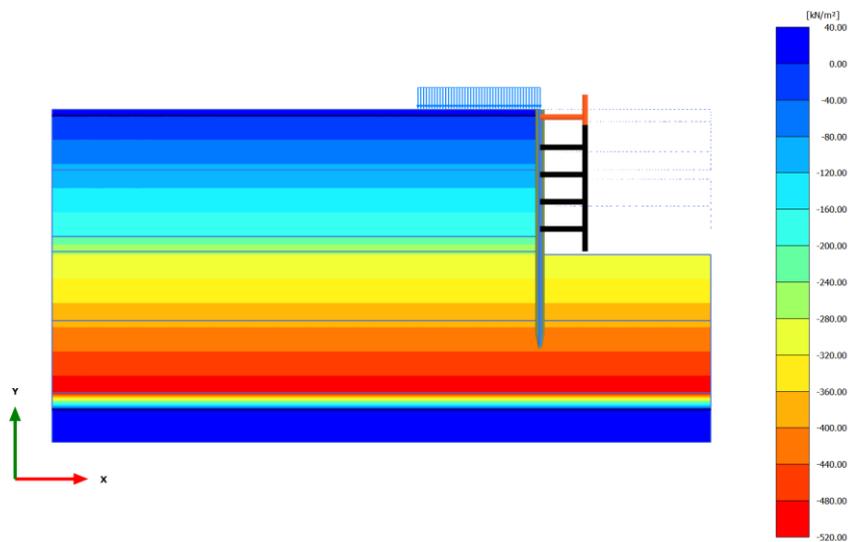


图4 调整后模型中的孔压分布

新奥法隧道开挖提示不收敛

本案例主要介绍某新奥法隧道施工分析中的警告提示不收敛及处理办法。

使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 2D CE V21

模型简介/MODEL

模型长 75m，土层厚 75m，土层表层为覆盖层及强风化的砂岩，图中黄色部分为中风化的砂岩，该层中采用新奥法进行一马蹄形隧道开挖。

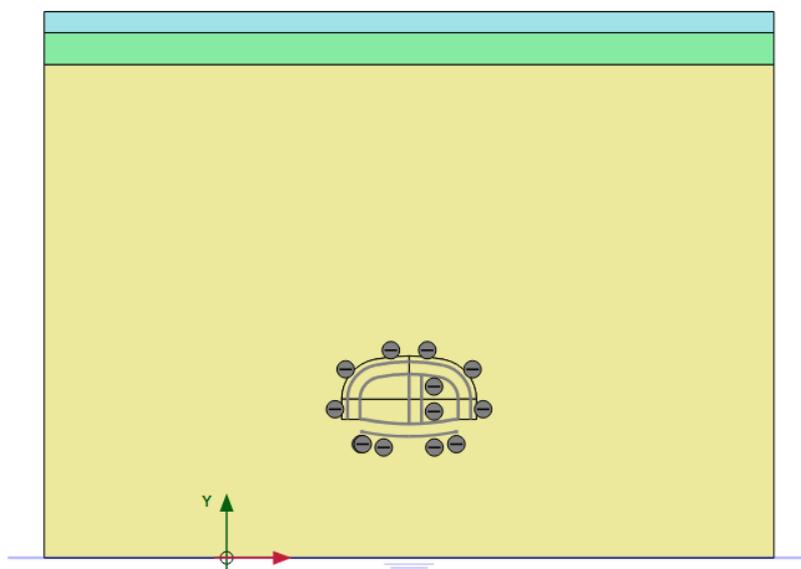


图 1 几何模型

问题描述/PROBLEM

初始阶段产生警告提示；后续开挖阶段中显示荷载进程失败。

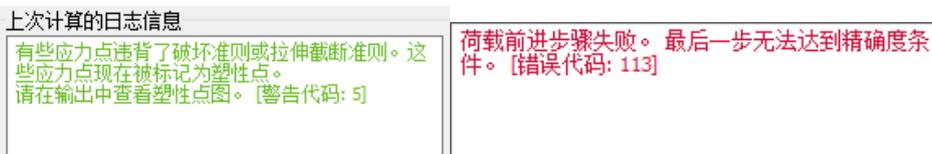


图 2 错误及警告提示

解决办法/SOLUTION

首先是初始阶段的警告问题。对于水平土层，初始阶段往往采用 K_0 方法生成初始应力场， K_0 法的概念为水平方向的初始应力为竖直方向应力的 K_0 倍，即对于单层土，竖直向应力分布为 γz ，水平向初始应力分布为 $K_0 \gamma z$ ，且两者分别为最大最小主应力。 K_0 值默认为 $1 - \sin \phi$ ，则如果使土层在初始条件下不为破坏状态，根据摩尔库伦准则，有：

$$\frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} < K_0 < \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

所以造成出现该警告的原因是 K_0 值或内摩擦角 ϕ 的问题。修改 K_0 值，即可避免该警告出现。

其次是荷载前进步骤失败问题。顾名思义，在某一步中，收敛因子无法达到指定值，程序无法收敛，解决该问题首先应查看该步下的结果，通过结果查找不收敛原因。

打开后处理程序，查看该阶段最后一步的塑性区分布，发现隧道左侧顶、底部均出现了拉伸破坏点。中风化岩体拉伸强度很高，很难发生拉伸破坏，推测前处理中岩土体拉伸强度值的设置有问题。

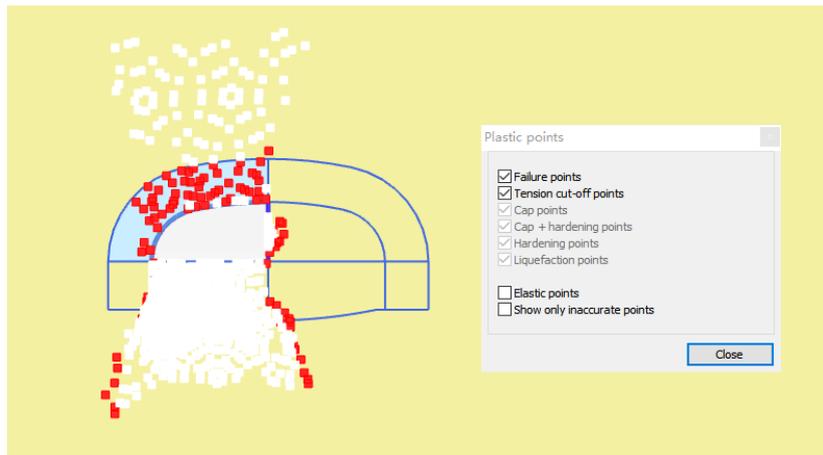


图 3 塑性点分布

查看前处理中的岩土参数，发现中风化砂岩层的拉伸强度值没有修改，是程序默认值 0，所以才导致计算过程中出现拉伸破坏导致不收敛。

强度		
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
拉伸截断		<input checked="" type="checkbox"/>
拉伸强度	kN/m ²	0.000

图 4 岩土体强度设置窗口

修改岩体抗拉强度后，模型可正常计算，隧道整体变形如下图：

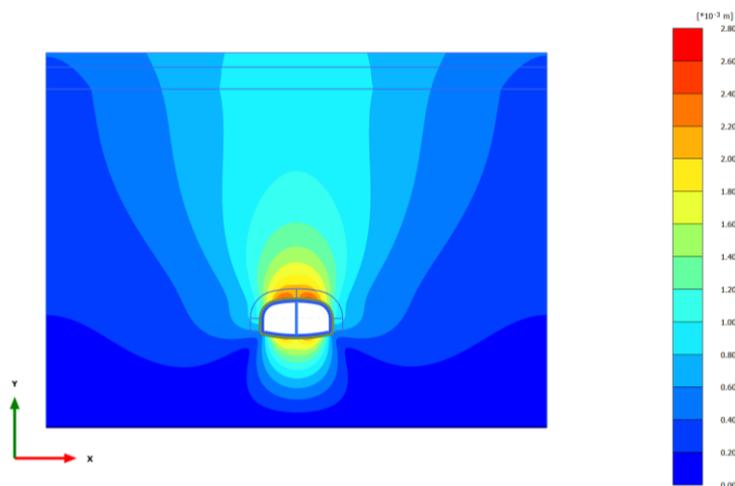


图 5 计算后的隧道变形



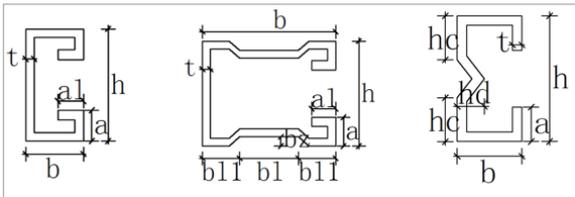
CiSApps v23.2.1 新增及改进功能

问题修复

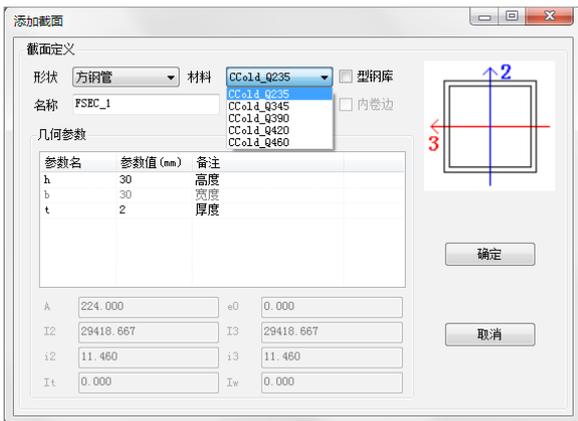
- 修复计算书输出中的负温度输出
- 修荷载组合功能中的荷载组合读取问题

冷弯插件

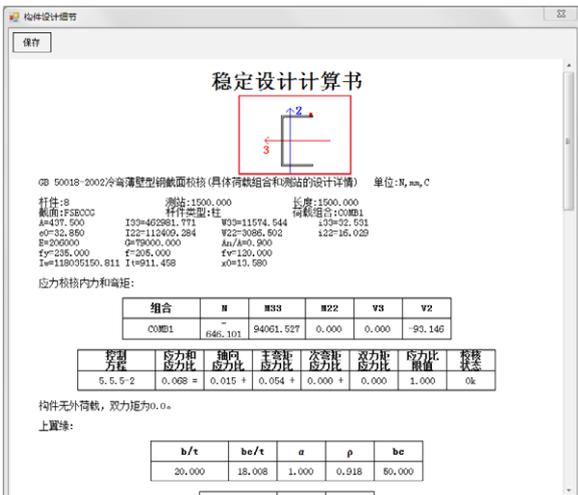
- 增加下图所示 3 种截面的构件设计



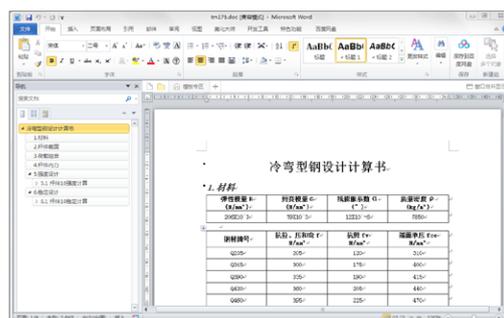
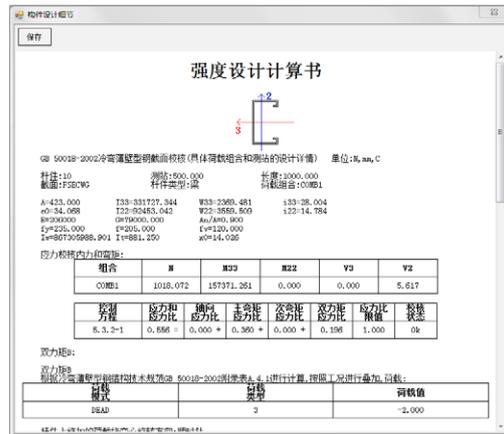
- 增加轴心受压稳定系数覆盖项
- 增加 Q390、Q420、Q460 级别材料类型



- 设计计算书中，截面按照尺寸显示
- 增加有效截面的显示



- 计算书输出单位修改为 N、mm



点击了解更多功能特性

新增及改进功能

IDEA 21.1.0 新增及改进功能

全新的 BIM 接口

• IDEA v21.1 采用全新的 BIM 接口 Checkbot 取代之前的 Code-Check Manager，无缝连接多款第三方的 CAD/FEA 软件，为全球工程师的工作效率带来更大的提升。Checkbot 主要功能特点包括：

- 1) 全面管理由第三方软件导入的数以百计的节点和构件
- 2) 标识各个节点或构件的当前状态，如：待设计、待计算、通过 / 未通过校核
- 3) 构件和荷载的三维可视化
- 4) 材料和截面的转换表
- 5) 管理荷载组合
- 6) 从第三方软件中启动或作为独立应用，组合多个来源的输入数据

节点浏览器

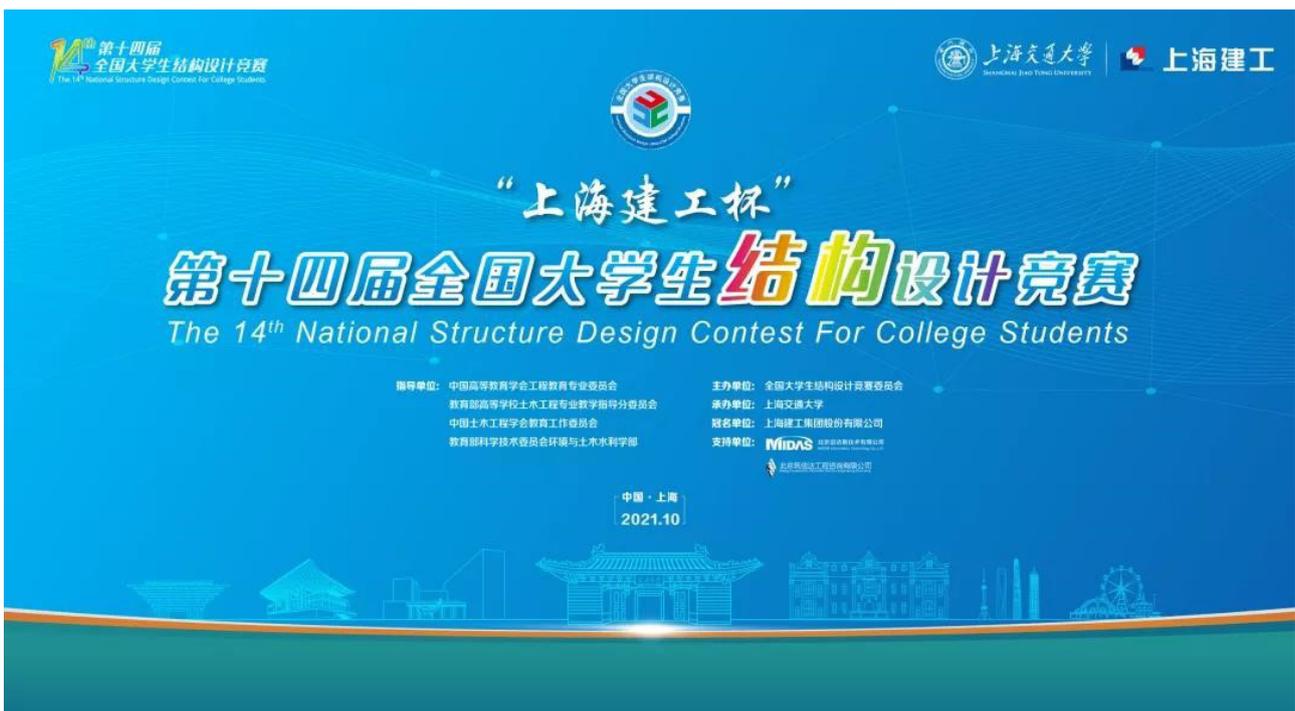
• 节点浏览器可以帮助用户从节点库中快速选择和应用合适的节点设计方案，节省设计时间、提高工作效率。节点库的数据来源包括：IDEA 内置节点、用户保存的节点和全球用户共享的“云端”节点。

其它更新

- 屈曲模态的数量可选 3 至 30 之间的任意数值，默认值为 6
- 新增基于欧洲结构钢标准的材料数据库，如：英国工程师惯用的 EN 10025-2
- 欧标 EN 和印标 IS 的焊缝强度取母材强度和焊材强度中的最小值
- 在螺栓的“剪力传递方式”中移除“承压”选项，即：必须考虑拉剪联合作用

[点击了解更多功能特性](#)





【助力高校 协同创新】

第十四届全国大学生结构设计竞赛圆满落幕

2021年10月13日至17日，“上海建工杯”第十四届全国大学生结构设计竞赛在上海交通大学闵行校区隆重举行。共112支队伍踊跃参赛，得到了全国各高校和土木工程等相关领域单位的广泛关注与支持。

筑信达作为大赛赞助单位全程提供正版软件及技术支持，为学生发放软件书籍、资料等。



比赛现场，参赛选手们聚精会神地搭建着手中的模型，看似简单的工具和零件，考验着选手们抽象思维和逻辑计算能力，还有冷静自持的抗压能力。所有选手们都鼓足干劲，克服在制作过程中遇到的困难，有条不紊地进行模型制作。

根据模型制作、现场答辩、加载测试，以及全国大学生结构设计竞赛专家委员会评审，最终上海交通大学荣获“特等奖”；长沙理工大学等18



所高校荣获“一等奖”；江西理工大学等 35 所高校荣获“二等奖”；安徽建筑大学等 45 所高校荣获“三等奖”；其中湖北工业大学、昆明学院、陕西理工大学、西藏大学、西藏农牧学院等高校在竞赛过程中运用 SAP2000 软件完成建模。在此对所有在大赛中取得优异成绩的队伍表示衷心的祝贺！



全国大学生结构设计竞赛为教育部确定的全国九大大学生学科竞赛之一，旨在提高大学生创新设计能力、动手实践能力和综合素质，加强高校间的交流与合作。筑信达作为赞助单位在本届大赛中荣获“卓越育人单位奖”，同时我们会继续为参赛师生提供软件支持与技术服务，也希望广大师生再接再厉，明年再战！



供稿：王晋京



SAP2000 实例操作培训班 (西安站、武汉站、郑州站) 圆满落幕

“北京筑信达工程咨询公司”联合“武汉百思通科技有限公司”共同举办的“SAP2000 实例操作培训班”系列活动西安站、武汉站、郑州站已经顺利举行、圆满完成。本轮培训班每次各一天时间，主要带领工程师们全过程操练典型案例，快速掌握软件功能，增强独立使用软件处理工程问题的能力，



本轮培训班活动共计约 57 家单位 150 余位工程师同事参加，课程由筑信达技术部工程师 - 郑翔老师主讲，上午主要讲解 SAP2000 软件的发展历程以及软件基本概念，帮助参会人员从宏观上了解软件的基本操作流程，随后以“SAP2000 实例操作一：上承式桁架的建模分析与设计”作为演示，带领大家一步步操作熟悉软件的功能及命令设置，案例操作完成后顺便介绍了 IDEA 软件功能，演示 IDEA 通过内部插件直接读取 SAP2000 的节点荷载、截面等信息，并且实现联动的全过程，对 IDEA 软件产品进行了很好的推广；下午主要讲解 SAP2000 软件在筒仓结构的建模与分析中的应用，进一步加深工程师对软件应用的理解，并且向参会工程师们拓展演示了筑信达公司自主开发的 CISAPPS 工具箱和 CiSDesignCenter 软件功能，对软件的

推广应用起到了很好的效果。充分交流大家广泛关心的工程问题，并对我公司的新产品 IdeaStatiCa、CiSDesignCenter 等进行了功能介绍和推广。

本次培训班有来自不同行业的工程师参与其中，再一次印证了 SAP2000 软件的通用性，无论是工业结构还是民用结构，它都能灵活应对各种类型结构分析设计的挑战。

活动报道

培训班现场，参会人员学习热情主动，对自己关心的问题积极与郑翔老师沟通交流，会议现场都创建了 QQ 交流群为参会工程师提供学习资料和培训信息，极大的方便了参会人员的技术交流，会后大家争相与郑翔老师互留联系方式，会议圆满结束并取得了预期效果。

会后收到很多工程师的积极反馈，对内容设置和培训老师的精彩讲解都一致的给予好评，并提出了很多宝贵的意见和建议。在此我们再次感谢广大工程师朋友对我们的大力支持，也欢迎更多的工程师朋友关注和参与到我们今后的其他的线上和线下培训课程中来！



供稿：倪超



基于 SAP2000 贝雷梁建模分析及设计 培训班成功举办

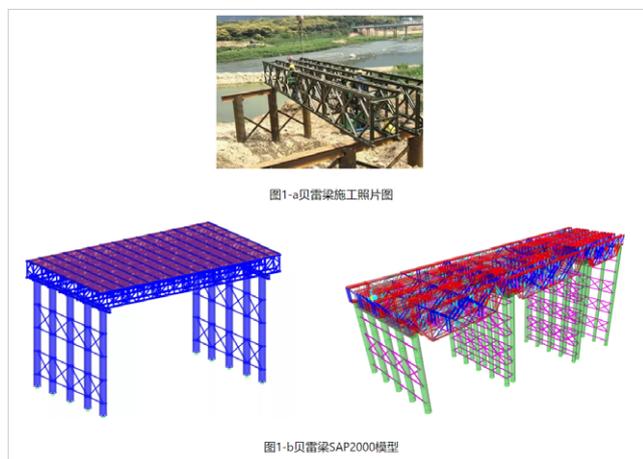
为了帮助工程师从结构分析的角度解决施工临时结构的设计问题，提高工程师的分析能力。2021年12月21日，由北京筑信达工程咨询有限公司和上海江图信息科技有限公司共同举办了“SAP2000 贝雷梁建模分析及设计培训班”。

本次培训班向工程师介绍了 SAP2000 基础功能的同时，更注重软件与实际工程应用的结合。培训案例选取工程中应用较多的贝雷梁支架，分为三次课程，每节课程时长为 2.5 小时。课程从基础的力学概念开始，围绕贝雷梁支架分析中涉及的问题，主要介绍了力学模型的简化、常规荷载的处理、构件之间的连接方式、边界条件设置、结果查看及提取等问题。并通过对案例模型全过程的建模分析操作，全面细致讲解相关知识点。

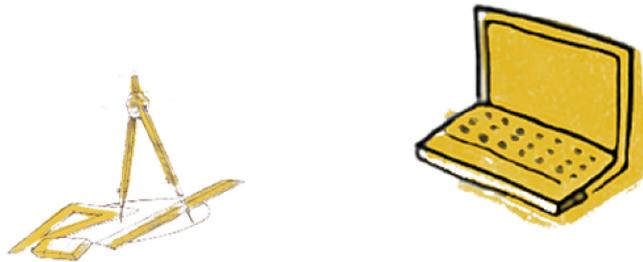
在授课过程中，授课老师对重点及难点知识通过多次强调及讲解加深学员印象。在答疑环节，通过聊天区功能，工程师纷纷提出自己的疑问和问题，由授课老师在第一时间解答。为巩固学习效果，在每一节课后均设置简单的实操作业。通过学与练，帮助技术人员快速理解及掌握相关分析设计要点。

课程结束后，很多工程师对培训的课程表示了认可，希望能多举办类似的培训活动。有不少工程师由于一些原因并没听完整个课程，想要继续学习，希望能得到本次培训的视频和资料。另外，还有一些工程师在自己练习和实操中遇到了一些问题，也通过在线支持及电话的方式联系我们帮助解决。总的来说本次培训圆满完成。

本次培训的重点为掌握 SAP2000 贝雷梁分析及设计的基本操作及基本理论。希望通过该课程的学习能有效提高学员的技术水平，初步具备临时结构的验算及设计能力。关于此次的培训的学习视频和资料，请关注筑信达官网 www.cisec.cn 在线学习。



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



CiBRIDGE

SAP2000

ETABS

SAFE

PERFORM3D

CiSDesigner

CiSGTCAD

CiSModelCenter

CiSOpenSteel

CiSDesignCenter

PLAXIS

IDEA

DEEP
EX



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