

筑信达 技术通讯

第 9 期

2019 年 03 月

Vol.3 No.1

www.cisec.cn



- 复杂钢节点建模技巧
- CSI 软件与 Revit 的互导工具 CSiXRevit
- CSiBridge 中的移动荷载分析
- ETABS 美标剪力墙、连梁设计
- Edward L. Wilson 教授访谈回忆录 (8)



主 办：北京筑信达工程咨询有限公司
主 编：李 立
美 编：张翠莲

北京筑信达工程咨询有限公司

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

筑信达武汉分公司

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

区域代理

北方区

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

华东区

上海江图信息科技有限公司
联系人：薛平
手 机：137 0172 6345

华南区

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

华中区

武汉百思通科技有限公司
联系人：叶亮
手 机：139 9561 6575

西南区

金橡果科技成都有限公司
联系人：刘宇
手 机：185 1282 0985

目 录



复杂钢节点建模技巧

1

基于欧标的螺栓承载力校核

4



PLAXIS 3D 隧道分离工具实现隧道开挖 DIY

7



DeepEX 中国支护结构体系简介

10



CSiBridge 中的移动荷载分析

14

ETABS 美标剪力墙、连梁设计

17

CSI 软件面对象边释放、偏移、
厚度覆盖项功能的应用

23

CSI 软件与 Revit 的互导工具 CSiXRevit

29

经典连载

Edward L. Wilson 教授访谈回忆录 (8)

45

新版发布

征稿启示

51



cisec68924600

复杂钢节点建模技巧

筑信达 张志国

如图 1 所示，利用 IDEA 基于构件和操作（Operation）的流程化建模，用户可以轻松创建各种常见的标准钢节点。但是，实际工程中的部分复杂钢节点往往需要采用各种非常规的操作类型和几何建模技巧，如：通用板件、板件切割以及自定义的螺栓或焊缝连接。有鉴于此，本文拟选取若干工程实例介绍上述操作类型和建模技巧，希望对广大 IDEA 用户及爱好者学习和应用该软件有所帮助。

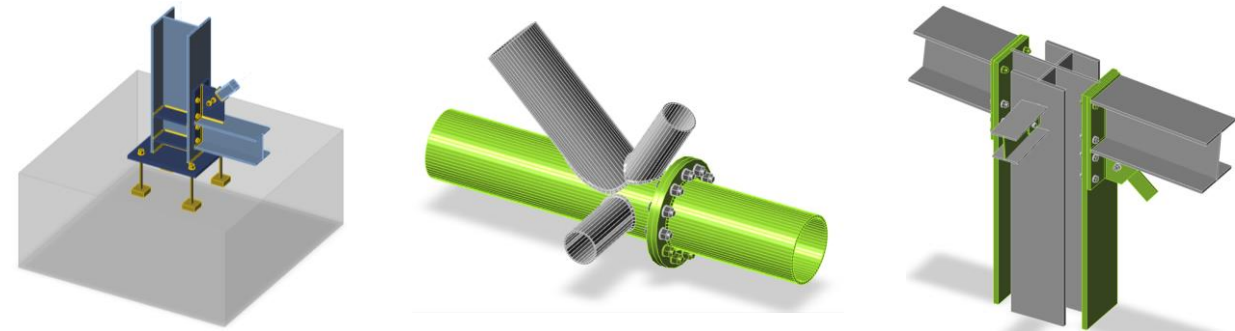


图 1 常见的标准钢节点

1 焊接或组合截面的加劲板

加劲板（Stiffener）操作仅适用于常规的采用轧制截面的构件，例如：工字钢、T 形钢以及圆钢管或方钢管等。但是，对于采用焊接截面或组合截面的构件，IDEA 往往无法直接添加横向加劲板。如图 2~3 所示，如果用户直接对焊接方钢管或组合十字柱添加加劲板，IDEA 将提示“无法执行该操作”，如下所示。

✖ STIFF1 - Cannot execute the operation.
'Box550x550x22(BoxWeb550x(550/550))' is not supported type of the cross-section.



图 2 焊接的方钢管截面



图 3 组合的十字形截面

针对上述问题，建议采用“通用板件+自定义焊缝”的方式来添加加劲板。通用板件（Stiffening Plate）与依附于其它操作的板件有所不同，该类板件可任意定义其平面尺寸和空间位置或空间方向，如图 4 所示。因此，用户只需输入长度 B、宽度 H、中心点坐标（X/Y/Z）及相对转角（Rx/Ry/Rz）等几何参数，即可完成加劲板的精准定义。

▼ Stiffening plate	
Material	< default >
Thickness [mm]	20.0
Shape	Rectangular
B1 - width [mm]	253
B2 - width [mm]	253
H1 - height [mm]	253
H2 - height [mm]	253
Origin	Joint
X [mm]	0
Y [mm]	0
Z [mm]	530
Rx [°]	0.0
Ry [°]	0.0
Rz [°]	0.0

图 4 通用板件的属性

▼ General weld or contact	
Placement	Edge to surface
Type	Weld
▼ First plate	
Member or plate	SP1
Edge index	2
▼ Second plate	
Plate	C Top flange 1
▼ Welds	
Weld [mm]	0.0 < default >
Type	Continuous

图 5 自定义焊缝的属性



由于通用板件无法直接定义焊缝，用户应在上述操作的基础上自定义通用焊缝（General Weld）。如图 5 所示，该类焊缝可用于连接任意相互接触的边和面（Edge to surface）或边和边（Edge to edge），同时定义焊缝厚度和焊缝类型。需要注意的是，此处的焊缝类型包括常规的连续焊缝（Continuous）和非常规的局部焊缝（Partial）或间断焊缝（Intermittent）。

综上，利用通用板件和自定义焊缝即可对焊接方钢管或组合十字柱添加加劲板，如图 6~7 所示。

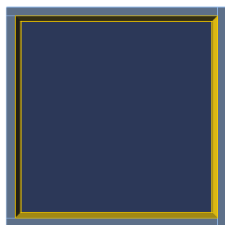


图 6 焊接的方钢管截面

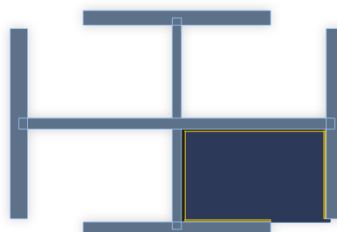


图 7 组合的十字形截面

2 加强环式梁柱节点

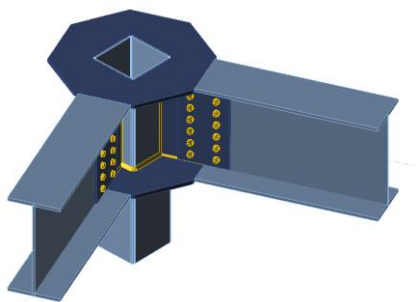


图 8 加强环式梁柱节点

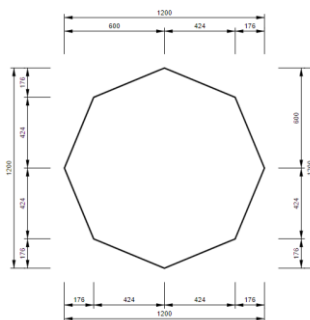


图 9 正八边形的加强环

如图 8 所示，加强环式梁柱节点的建模难点主要集中在正八边形的加强环及其中部开洞。事实上，前文介绍的通用板件（Stiffening Plate）既支持常规的矩形或圆形板件，也可以通过 DXF 文件导入任意平面形状（Polygon）的板件，如图 9 所示的正八边形。在此基础上，利用板件切割（Cut of Plate）操作完成加强环的中部开洞及其与柱外表面的焊接。

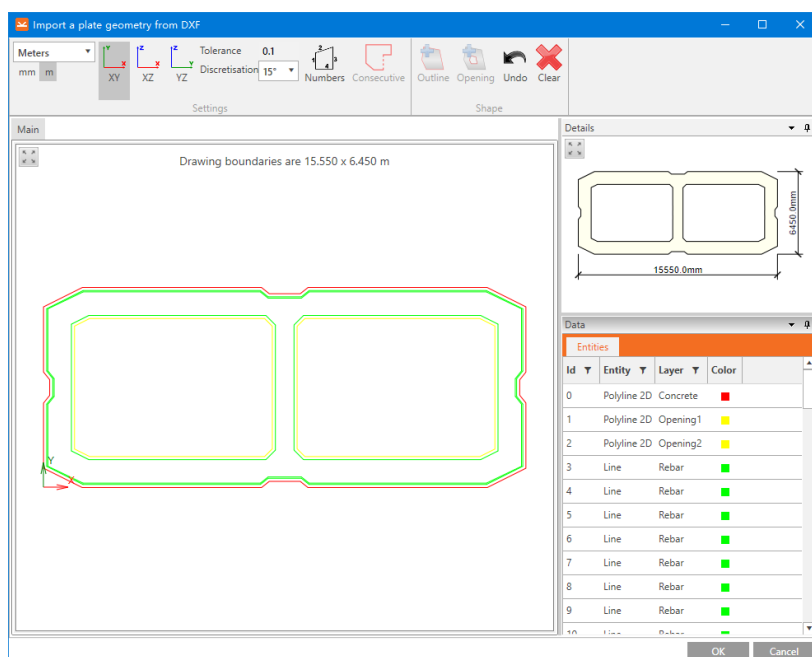


图 10 以 DXF 文件导入任意平面形状的板件



如图 10 所示，在以 DXF 文件导入任意形状的板件时，用户应注意以下几点：

第一，IDEA 支持导入的 CAD 图元包括直线、多段线、圆、圆弧以及样条曲线，但并不支持块（Block）的导入。因此，用户在导入 DXF 文件前，应先将块分解为单个图元。

第二，当前选择的长度单位（如图 10 左上角所示）必须与 DXF 文件一致，否则将造成板件尺寸的数量级错误。

第三，用户应选择连续且闭合的图元用于创建板件的外轮廓（Outline）或开洞（Opening）。如图 10 所示，主窗口中最外侧的红色多段线用作板件的外轮廓线，最内侧的两条黄色多段线则用作板件内部的两个开洞，其效果图 10 右上角的细节窗口所示。

从上述第三条可以看出，用户也可以直接导入正八形且中部开洞的加强环板件。该方法需要根据柱截面的形状和尺寸精确绘制 CAD 图形；否则，加强环与柱外表面之间存在的任何间隙或重叠都将导致无法添加二者之间的焊缝。但是，利用板件切割操作可以完全避免上述问题（高效且准确），故推荐使用。

3 IDEA 导出 DWG 文件

为了更加高效准确地对复杂钢节点进行建模和加载，IDEA 提供了丰富多样的 BIM 接口供用户选择。目前，IDEA 支持各种主流的 CAD/CAE 软件，如：Tekla、ETABS、SAP2000、Midas、Revit 以及 STAAD.Pro 等。需要注意的是，上述 BIM 接口仅支持“CAD/CAE→IDEA”形式的单向导入。因此，建议用户在 CAE 软件（如 SAP2000）中修改荷载或在 CAD 软件（如 Tekla）中修改节点设计，然后同步更新至 IDEA 中进行节点分析与校核。

如果用户需要将 IDEA 中创建的钢节点模型转换为 AutoCAD 中的 DWG 文件，可登陆 IDEA 官网的[云服务](#)页面并选择【项目查看器】选项，如下所示。此时，用户可在线打开 IDEA 模型并点击【下载 3D DWG 文件】按钮下载并保存转换成功的 DWG 文件，如下所示。



最后，用户可在 AutoCAD 中打开并查看三维的钢节点整体模型以及二维的板件详图，如图 11 所示。

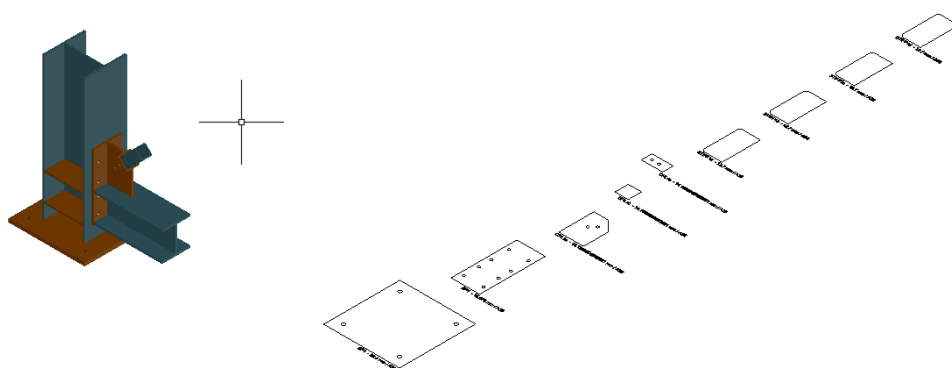


图 11 由 IDEA 云服务转换生成的 CAD 模型

4 小结

本文以组合截面的加劲板和复杂形状的加强环为例，重点介绍了 IDEA 支持的三种高级操作类型，即：通用板件、板件切割和自定义焊缝。同时，CAD 图形的导入和三维钢节点模型的导出也可以利用 DXF 文件和 IDEA 官网的云服务来实现。

希望本文介绍的几何建模技巧可以帮助广大读者更加深入地学习和应用 IDEA 软件，以期解决实际工程中可能遇到的各种复杂问题。

基于欧标的螺栓承载力校核

筑信达 张志国 吴文博

目前，IDEA 支持基于美标 AISC、欧标 EN、加拿大规范 CISC 以及澳大利亚规范 AS 的钢结构节点校核，具体包括：螺栓或锚栓校核、焊缝校核、柱脚节点的混凝土校核等等。为了让广大用户深入学习和理解关于钢结构节点校核的更多细节，本文将重点介绍基于欧标 EN 1993-1-8 的螺栓承载力校核在 IDEA 中的具体实现方法。关于其它组件（如锚栓、焊缝等）或规范（如 AISC、CISC 等）的节点校核内容，我们将在后续文章中向大家一一介绍，敬请关注！

1 普通螺栓的承载力

1.1 抗拉承载力设计值

$$F_{t,Rd} = 0.9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

上述公式中的 0.9 即 EC 1993-1-8 表 3.4 中的系数 k_2 的取值。该系数的取值依据为：沉头螺栓 0.63，其余螺栓 0.9。由于 IDEA 中的螺栓连接不采用沉头螺栓，故 k_2 恒为 0.9。

f_{ub} 为螺栓的极限强度，与其性能等级有关，用户可在 IDEA 的材料列表中查看。以性能等级为 10.9 的螺栓为例，其极限强度 $f_{ub}=100 \times 10=1000\text{MPa}$ ，屈服强度 $f_{yb}=1000 \times 0.9=900\text{MPa}$ 。

A_s 为螺栓在螺纹处的有效面积，与其公称直径 d 、有效直径 d_e 及螺纹间距 p 有关。计算公式如下所示：

$$d_e = d - \frac{13}{24} \sqrt{3} p \quad A_s = \frac{\pi d_e^2}{4}$$

用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看拉应力面积（Tensile stress area），即有效面积 A_s 。以公称直径为 24mm 的螺栓为例，其有效直径 $d_e=24-13 \times 1.732 \times 3 / 24=21.19\text{mm}$ ，有效面积 $A_s=3.1416 \times 21.19^2 / 4=353\text{mm}^2$ 。

γ_{M2} 为螺栓承载力的分项安全系数，详见 EC 1993-1-8 表 2.1，推荐取值 1.25。用户可根据需要在 IDEA 的规范设置（Code setup）中修改默认值（1.25）。

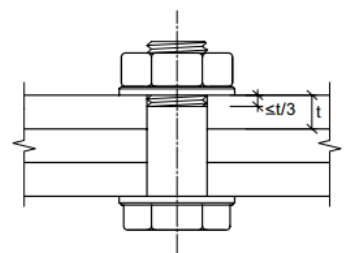
1.2 抗冲切承载力设计值

$$B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_u / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

螺栓冲切系指螺栓头或螺母在拉力作用下对与之相接触的板件所产生的横向剪切作用。如右图所示，螺栓在拉力作用下对其下部板件的横向剪力可能导致板件发生剪切破坏。从上式可以看出，EC 1993-1-8 假设该剪切破坏面为沿螺栓轴向的圆柱面，其直径为 d_m ，高度为 t_p 。

d_m 为螺栓头的直径（Head diameter）与对角直径（Head diagonal diameter）的平均值，用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看。以公称直径为 24mm 的螺栓为例，其螺栓头的直径为 41mm，对角直径为 45mm，故二者平均值 $d_m=(41+45)/2=43\text{mm}$ 。

t_p 和 f_u 分别为与螺栓头或螺母相接触的板件的厚度和板件的极限强度。其中，板件的极限强度与钢材牌号有关，用户可在 IDEA 的材料列表中查看。以常用的钢材牌号 S 355 为例，其极限强度 $f_u=490\text{MPa}$ 。



1.3 单个剪切面的抗剪承载力设计值

$$F_{v,Rd} = \beta_p \alpha_v f_{ub} A_s / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

上述公式用于计算单个剪切面的抗剪承载力设计值。对于 N 个剪切面的情况，螺栓总的抗剪承载力等于上述承载力的 N 倍，用于计算螺栓的抗剪承载比或拉剪承载比。

对于默认勾选的【螺纹处剪切面（Shear plane in thread）】选项，上式中的 A_s 即螺栓在螺纹处的有效面积 A_s 。如果用户取消该选项，IDEA 将采用螺栓的毛截面面积 A 替换上述有效面积 A_s 。用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看毛截面面积（Gross

Cross-section area)。

α_v 为考虑剪切面位置及螺栓性能等级的抗剪承载力折减系数。具体来讲，对于螺纹处剪切面 A_s ，螺栓性能等级为 4.5/5.6/8.8 时， α_v 取 0.6；螺栓性能等级为 4.8/5.8/6.8/10.9 时， α_v 取 0.5。对于非螺纹处的剪切面 A， α_v 统一取为 0.6。

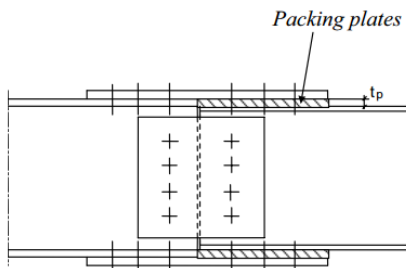


图 1 填板 (Packing plates) 示意图

如图 1 所示， β_p 为考虑填板 (Packing plate) 作用的抗剪承载力折减系数。当填板厚度 t_p 大于螺栓公称直径 d 的 $1/3$ 时， β_p 的计算公式如下所示：

$$\beta_p = \frac{9d}{8d + 3t_p} \leq 1.0 \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.3})$$

默认情况下，IDEA 忽略上述填板对螺栓抗剪承载力的折减。如需考虑填板作用，用户可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中勾选【在 FvRd 计算中考虑 β_p (Apply β_p influence in FvRd)】选项。

1.4 承压承载力设计值

$$F_{b,Rd} = k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

如图 2 所示， k_1 用于考虑垂直于内力方向的螺栓边距 e_2 和孔距 p_2 对承压承载力的影响。计算公式如下所示：

$$k_1 = \min(2.8 \frac{e_2}{d_0} - 1.7, 1.4 \frac{p_2}{d_0} - 1.7, 2.5) \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

其中， d_0 为螺栓孔径 (Hole for bolt)，用户可在 IDEA 的螺栓列表中查看。

t 为承压板件的厚度，IDEA 自动考虑不同受力方向中承压板件 (总) 厚度的最小值。

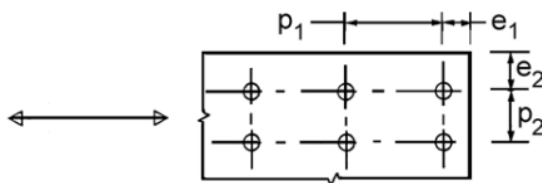


图 2 螺栓布置与内力方向示意图

如图 2 所示， α_b 用于考虑沿内力方向的螺栓边距 e_1 和孔距 p_1 对承压承载力的影响。计算公式如下所示：

$$\alpha_b = \min(\frac{e_1}{3d_0}, \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4}, f_{ub} / f_u) \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

如需忽略 α_b 对承压承载力的影响，用户可在 IDEA 的规范设置 (Code setup) 中取消勾选【考虑 α_b 的承压校核 (Bearing check with α_b)】选项，即 α_b 恒为 1.0。

最后，如果螺栓孔型采用槽孔且内力方向垂直于槽孔长向，上述承压承载力应乘以 0.6 的折减系数。计算公式如下所示：

$$F_{b,Rd} = 0.6 k_1 \alpha_b f_u d t / \gamma_{M2} \quad (\text{EC 1993-1-8 表 3.4})$$

1.5 承载比

针对普通螺栓的节点承载力校核，IDEA 支持两种不同的剪力传力方式 (Shear force transfer)。即：不考虑拉剪共同作用的



普通螺栓（**Bearing**）和考虑拉剪共同作用的普通螺栓（**Bearing-tension/shear interaction**）。对于前者，IDEA 仅计算抗拉承载比和抗剪承载比；对于后者，尚需计算拉剪承载比。

抗拉承载比即：螺栓的拉力设计值 $F_{t,Ed}$ 与抗拉承载力设计值及抗冲切承载力设计值之间的较小者的比值。如下所示：

$$U_{tt} = \frac{F_{t,Ed}}{\min(F_{t,Rd}, B_{p,Rd})}$$

抗剪承载比即：螺栓的剪力设计值 V 与抗剪承载力设计值及承压承载力设计值之间的较小者的比值。如下所示：

$$U_{ts} = \frac{V}{\min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd})}$$

拉剪承载比即：螺栓的拉力设计值 $F_{t,Ed}$ 与 1.4 倍抗拉承载力设计值的比值加螺栓的剪力设计值 V 与抗剪承载力设计值的比值。如下所示：

$$U_{tts} = \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} + \frac{V}{F_{v,Rd}}$$

当用户选择不考虑拉剪共同作用的普通螺栓（即 **Bearing**）时，IDEA 无需校核和输出拉剪承载比 U_{tts} 。

2 高强度螺栓的承载力

如果用户选择摩擦型（**Friction**）剪力传力方式，IDEA 自动切换为高强度螺栓的承载力校核。高强度螺栓的性能等级为 8.8 或 10.9，其预拉力设计值的计算公式如下所示：

$$F_{p,C} = 0.7f_{ub}A_s \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.7})$$

上述预拉力系数 0.7 可在 IDEA 的规范设置（**Code setup**）中修改，即：Pretension force factor k [-]。

高强度螺栓的抗拉和抗冲切承载力设计值及抗拉承载比与前述普通螺栓的计算方法完全相同，此处不再赘述。

2.1 抗剪承载力设计值

在考虑拉剪共同作用的前提下，高强度螺栓抗剪承载力设计值的计算公式如下所示：

$$F_{s,Rd} = \frac{k_s n \mu (F_{p,C} - 0.8F_{t,Ed})}{\gamma_{M3}} \quad (\text{EC 1993-1-8 式 3.8})$$

k_s 为孔型系数，详见 EC 1993-1-8 表 3.6。例如，标准孔取 1.0，内力方向平行于槽孔长向时取 0.63。

n 为传力摩擦面的数量。 μ 为摩擦面的抗滑移系数，详见 EC 1993-1-8 表 3.7。该系数可在 IDEA 的规范设置（**Code setup**）中修改默认值（0.3），即：Friction coefficient in slip-resistance [-]。

γ_{M3} 为螺栓承载力的分项安全系数，详见 EC 1993-1-8 表 2.1。用户可根据需要在 IDEA 的规范设置（**Code setup**）中修改默认值（1.25），推荐取值 1.25（承载力极限状态）或 1.1（正常使用极限状态）。

2.2 抗剪承载比

高强度螺栓抗剪承载比的计算无需考虑承压承载力，计算公式如下所示：

$$U_{ts} = V / F_{s,Rd}$$

3 小结

本文详细介绍了 IDEA 中基于欧标的螺栓承载力校核，具体包括：普通螺栓的抗拉、抗剪、抗冲切以及承压承载力计算以及摩擦型高强螺栓的抗拉、抗剪承载力计算。

希望以上内容可以帮助众多的 IDEA 用户或爱好者更加深入地理解和应用此软件，以期解决实际工程中遇到的有关欧标的钢节点设计与校核问题。

PLAXIS 3D 隧道分离工具实现隧道开挖 DIY

筑信达 郭晓通 张志国

PLAXIS 3D 提供的隧道设计器实现了隧道工程的快速精确建模，但早期版本对一个隧道只能定义一个施工工序，导致复杂的开挖方式无法单独利用隧道设计器来定义。有鉴于此，PLAXIS 3D 2018 在隧道设计器中新增了一个全新的隧道分离工具。

利用隧道分离工具，用户可以在主隧道中分离出某一部分作为单独的子隧道，同时在几何上保持与主隧道的一致性。每个子隧道都可以定义独立的切片、属性以及施工工序，故用户在阶段施工定义中可以更加全面灵活地控制隧道施工进度。

1 隧道分离工具

1.1 主隧道断面形状

用户在隧道设计器的【断面】模式中选择断面的形状类型为“模板”，即可激活隧道分离工具。此时，隧道设计器对话框中的【属性】和【顺序】两个模式被新的【分离】模式所取代，如图 1 所示。

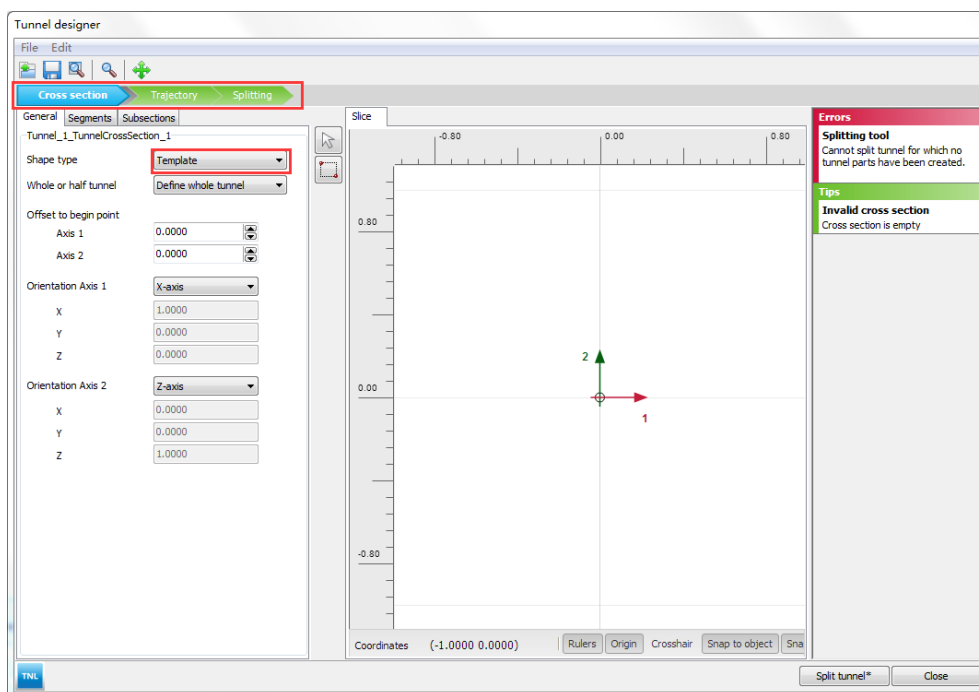


图 1 PLAXIS 3D 2018 隧道设计器

类似于常规的隧道断面设计，用户需要在【断面】模式下利用线段和子线段定义主隧道的形状。对于隧道的轨迹与切片，隧道分离前后定义均可。如果用户在当前主隧道中进行定义，后续子隧道将继承该轨迹与切片（也可以根据需要加以修改）。

1.2 主隧道分离

定义子隧道最快捷的方式就是在显示区直接点击隧道的内部分块，PLAXIS 将自动高亮该分块的全部边界曲线。在此基础上，用户既可以点击侧工具栏中的【添加子隧道】按钮，也可以右击曲线并在弹出的快捷菜单中选择【添加子隧道】命令。当然，用户也可以在显示区选择任意曲线并添加至既有子隧道或新的子隧道。

子隧道定义完后，点击右下角的【分离】即可完成主隧道分离，用户可在模型浏览器中查看各子隧道并定义其属性与工序。如图 2 所示，主隧道被分离成 8 个子隧道。

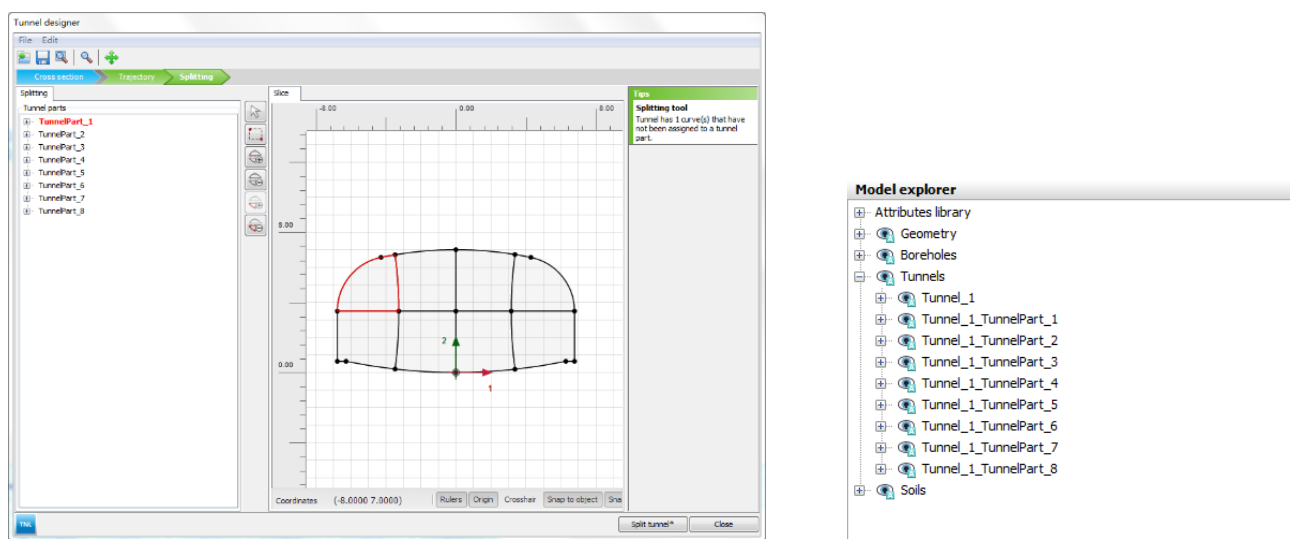


图 2 双侧壁导坑隧道的分离

2 隧道开挖方式

2.1 灵活的分区分进

矿山法与新奥法隧道主要以非全断面的形式开挖，整个开挖进程中隧道被划分成多个区块，且各自有着不同的开挖进度。以双侧壁导坑隧道为例，整个隧道的开挖包含了左右侧导洞上下台阶的开挖与主洞上下台阶的开挖。

PLAXIS 3D 早期版本需要在隧道设计器的【顺序】模式下定义各区块的开挖步骤。对于复杂隧道，往往造成隧道设计器中施工顺序数量繁多。一旦部分顺序设置出错，重新调整修正需要很长时间。而且不同区块的单个开挖进尺一旦设置便是固定的，无法通过隧道设计器进行修改。如图 3 所示，起始阶段区块 1 超前区块 2 开挖 10 米，后续更改为 8 米，之前版本的隧道设计器便无法定义。

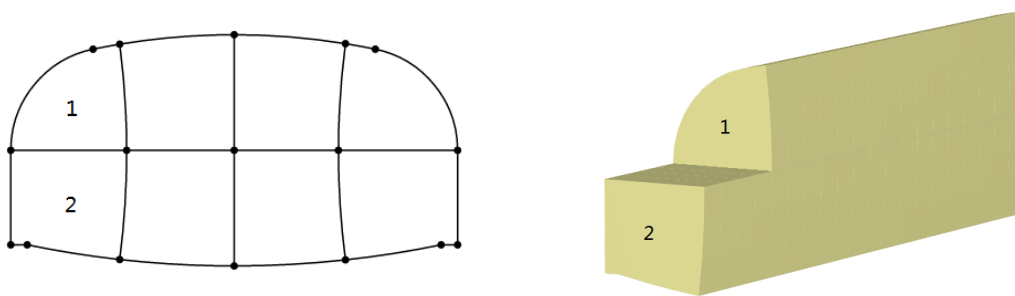


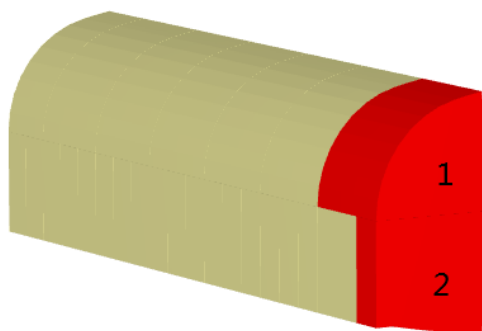
图 3 子隧道定义开挖工序

对于上述问题，利用隧道分离工具，将上图的 1、2 区块分离为两个子隧道，在各自隧道设计器的【顺序】模式下定义各自的施工顺序，然后在 PLAXIS 3D 前处理程序的施工阶段模式下通过选择“Advance to next step”的次数来自定义该阶段各子隧道的开挖进尺。

2.2 分区自由切片

早期版本中，倘若隧道不同区块采用不同的单次进尺量，那么切片方式就要选择各区块进尺量的公约数。以图 3 隧道为例，倘若区块 2 单次进尺 1 米，区块 1 单次进尺 3 米，那么在隧道设计器【轨迹】模式中进行切片时便须设置切片间隔为 1 米。

对于上述问题，将两区块分离后，可分别定义各子隧道的切片方式。如图 4 所示，区块 1 可设置切片间隔为 3 米，区块 2 可设置切片间隔为 1 米。整个隧道的施工进程将得到相应简化。



注：红色区域为单个切片厚度

图4 子隧道自由切片

2.3 局部区域的停挖

此外，早期版本的隧道设计器无法定义部分区域的停挖，即只要在隧道设计器【顺序】模式中取消激活隧道内某部分岩土体，在后续阶段该部分土体便进入开挖状态，直至开挖完设定的切片数量为止。

利用隧道分离工具将主隧道分离后，用户是可以自由决定各子隧道的开挖与停挖的。即在施工阶段设定中不对某子隧道进行推进（Advance to next step），便相当于暂停了该区块的开挖。

3 小结

隧道分离工具作为 PLAXIS 3D 2018 隧道设计器中新增功能，大大增加了工程师对于隧道开挖控制的自由度，让隧道建模与分析更贴近工程实际，使工程师们应对复杂的隧道开挖工序更加游刃有余。





DeepEX 中国护结构体系简介

筑信达 詹毕顺 张志国

1 概述

深基坑工程中主要涉及两大系统：用于阻挡土体和水直接进入开挖侧的围护结构体系和承受来自土体、超载以及水产生的作用的支撑系统。实际工程中围护结构体系的选择受到经济成本、土质状况、施工条件、邻近建筑物保护、环境影响等多种因素的制约。因此，选择合理可靠的围护结构体系是一项复杂的工作，也是深基坑设计的关键。

DeepEX 程序为用户提供了多种围护结构体系，诸如支护桩体系、钢板桩体系、咬合桩体系、地下连续墙、联合钢板桩墙体系以及箱型钢板桩体系等。当然，用户也可以根据自己的需要自定义围护结构体系。下面本文主要介绍钢板桩墙、联合钢板桩墙、咬合桩墙以及地下连续墙等围护结构体系的特点，并简要介绍相应围护结构在 DeepEX 程序中的参数设置问题。

2 钢板桩墙 (Sheet pile wall)

钢板桩墙因其具有重量轻、重复利用率高、便于连接、施工方便等特点，在深基坑工程中得到了广泛应用。实际工程中通过锤击、振动等方式可以轻松实现钢板桩的安装。相邻钢板桩之间使用锁扣实现快速连接，从而拼接出方形、圆形、多边形等各种形状的钢板桩墙围护体系，典型截面如图 1 所示。

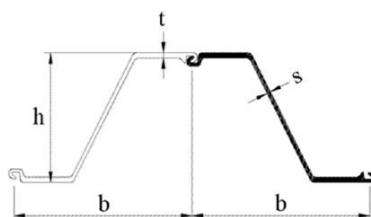


图 1 典型的钢板桩截面

在 DeepEX 中用户可以选择各个国家规范截面库中的钢板桩截面以及一些国际知名的钢板桩制造商。选择完截面后切换至【Sheet Piles】标签，用户可以查看所选钢板桩截面的各种信息，包括截面名称、截面高度、宽度、板件厚度、截面面积、截面惯性矩以及截面弯曲角度等，如图 2 所示。

A. Wall Type			C. Sheet Piles		F. Draw	
1. Section Designation (from database)						
Section: GB-BU575X9.5						
2. Sheet pile properties						
h	21	cm	A	147.826	cm ² /m	
b	62.7	cm	t	0.95	cm	
I _{xx}	8681.73	cm ⁴ /m	s	0.95	cm	
S _{xx}	733.913	cm ³ /m	α	45	degrees	
Interlock type: DH [Select Interlock type]						
Unsupported Length L _x factor below excavatio						
5 x wall Width						
MANUFACTURER: GB, CHINACHINA, SHAPE: U						
HOT/COLD ROLLED: CF						

图 2 【Sheet Piles】标签

另外，在【Sheet Piles】标签中用户还可以设置钢板桩截面之间咬合方式和开挖深度下的无支撑长度。在各种参数设置完成后，用户可以在【Draw】标签中看到组装完成后钢板桩墙体系示意图，如图 3 所示。

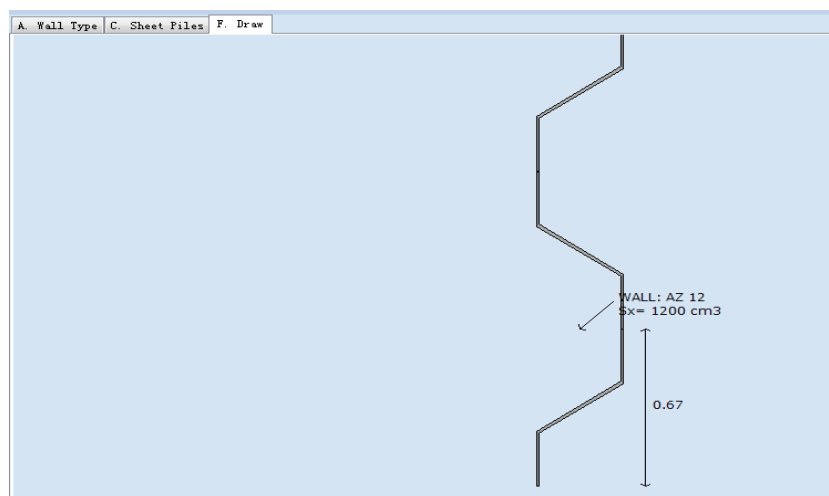


图 3 【Draw】标签

3 联合钢板桩墙 (Combined sheet pile wall)

当基坑周边环境较为复杂，开挖深度较深时，上面所说钢板桩墙体系抵抗主动土压力的能力较弱，不能满足工程需求。因此，在钢板桩墙体系的基础之上，联合钢板桩墙体系应运而生。将型钢截面（主要为工字钢、管桩）与普通钢板桩截面通过锁扣进行机械咬合连接，即可组成联合钢板桩墙体系，典型截面如图 4 所示。这种联合钢板桩体系不仅具有良好的防水性能，而且通过型钢增大了截面惯性矩，增强了其整体抗弯能力。

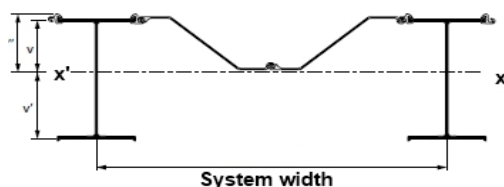


图 4 典型联合钢板桩截面

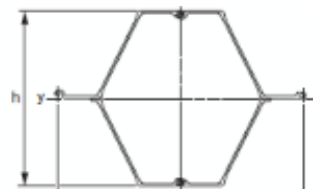


图 5 典型箱型钢板桩截面

用户可以在 DeepEX 的截面类型中选择联合钢板桩截面以及组合截面中型钢和钢板桩的具体截面型号和尺寸，其中有多国型钢和钢板桩截面尺寸可供选择。

首先，在【Combined sheet piles】标签中，用户可以选择工程所需的组合截面，程序根据实际使用情况提供了多种常见的组合截面形式，选择完组合截面之后用户可在【Sheet Piles】标签和【Steel Beams】标签中分别查看钢板桩和型钢截面的具体数据，如截面高度、长度、面积、截面惯性矩等。【Combined sheet piles】标签栏如图 6 所示。

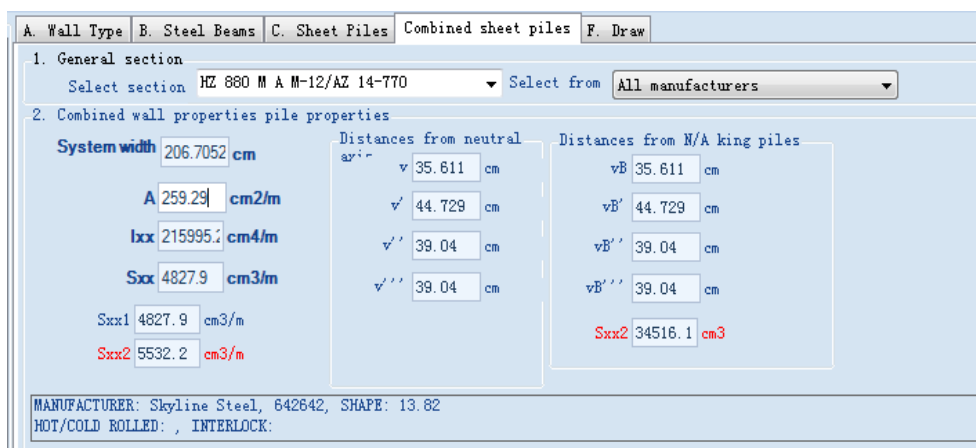


图 6 【Combined sheet piles】标签



同样，为了进一步提高钢板桩截面的抗弯能力，DeepEX 还提供了箱型钢板桩截面（Box sheet piles），如图 5 所示。箱型钢板桩截面通过相互之间咬合形成中空的箱型截面，从而增大截面惯性矩，提高截面抗弯能力。

4 咬合排桩墙（Secant pile wall）

咬合排桩墙是指相邻单桩之间部分重叠，从而构成相互咬合的整体桩墙。其中，相互咬合的单桩之间有多种组合形式，如：钢筋混凝土单桩与素混凝土单桩咬合、内插各种型钢或者钢管的单桩与素混凝土单桩咬合、素混凝土单桩之间咬合以及钢筋混凝土单桩之间咬合等。咬合排桩墙相对其它排桩墙而言，整体性能较好，承载能力有所提高，且具备一定的抗渗能力。典型咬合桩墙的截面如图 7 所示。

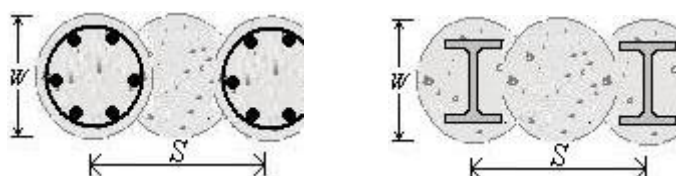


图 7 典型咬合桩截面

在选中某一咬合桩截面后，用户可在 DeepEX 中设置单桩的材料，其中有各个国家的混凝土和钢筋材料可供选择，且程序还能提供不同国家的型钢截面库，使得用户在选择材料和型钢截面时更加方便快捷。

材料设置完成后，用户可以切换至【Concrete-Rebar】标签（如图 8 所示）中设定单桩截面的直径，然后程序会自动计算其截面面积和截面惯性矩，接着用户可以设定单桩竖向钢筋数量、直径以及钢筋保护层厚度。在配置好单桩箍筋直径以及间距后，即可完成咬合桩的初步设计。在 DeepEX 中计算完成后可以根据计算结果校核咬合桩的设计是否合理，从而对原设计快速做出调整。

The screenshot shows the 'Concrete-Rebar' tab with the following sections:

- 1. Concrete Section Type**: Includes checkboxes for 'Use more than one reinforcement sections' and 'Define custom reinforcement'.
- 2. Section Dimensions**: Includes input fields for Diameter (D: 60 cm), Area (A: 5376 cm²), and Moment of Inertia (Ixx: 1812800 cm⁴). A 'Recalculate box' button is present.
- 3. Longitudinal Reinforcement (Tension - Compression)**: Includes input fields for Top Rebars (N: 6), Bars # (6), Area (AsTop: 17.032224 cm²), and Top Cover (Ctop: 7.62 cm).
- 4. Shear Reinforcement**: Includes input fields for Bar #, Area (As: 0 cm²), and Spacing (sV: 0 cm). It also has checkboxes for 'Shear reinforcement is spiral' and 'Treat wall as slab for shear capacity calculations (diaphragm walls only)'. A note 'Metric Rebars D10 for 10mm Diam' is visible.

图 8 【Concrete-Rebar】标签

5 地下连续墙（Diaphragm wall）

地下连续墙是一种常见的围护结构形式，在基坑工程中应用范围很广。地下连续墙墙体施工具有低噪声、低震动等优点，对环境的影响小；墙体刚度大，整体性好，基坑开挖过程中安全性高，支护结构变形较小；且墙体具有良好的抗渗能力，可作为地下结构的外墙。

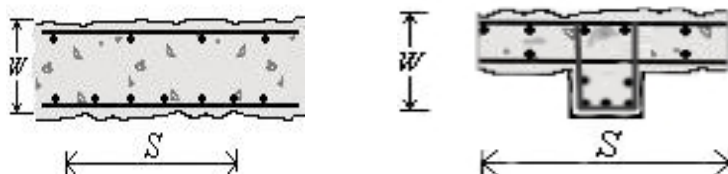


图 9 典型的地下连续墙截面

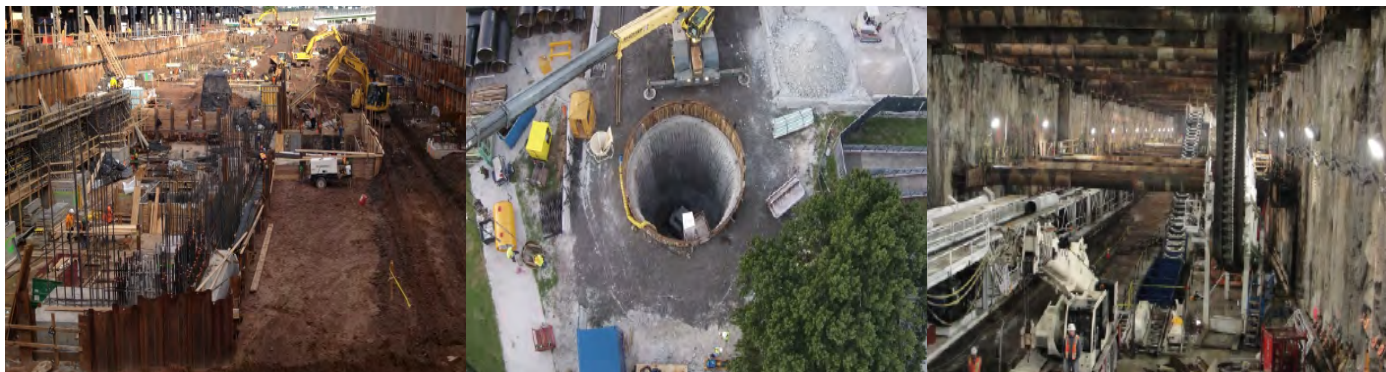
DeepEX 提供了三种地下连续墙的截面形式，分别为一字形、朝向墙体内侧的 T 形以及朝向墙体外侧的 T 形截面，如图 9 所示。选中某一截面形式后，用户可自行设置截面所需钢筋和混凝土材料，其中有美标、欧标以及中国规范等多种材料标准可供选择。

切换至【Concrete-Rebar】标签（如图 10 所示）后，用户可以设置截面长度、宽度，接着程序会自动计算截面面积和惯性矩。截面尺寸设置完成后，用户可配置钢筋，包括顶部、底部受力钢筋的直径、根数、混凝土保护层厚度以及箍筋直径和间距。以上就完成了地下连续墙截面的初步设计，根据计算结果进行截面优化后即可完成最终设计。

图 10 【Concrete-Rebar】标签

6 小结

本文简要介绍了 DeepEX 中主要的围护结构体系，包括钢板桩墙、联合钢板桩墙、咬合桩墙以及地下连续墙。希望通过上述介绍能够让读者了解 DeepEX 中围护结构的特点以及截面参数的设置方法。



CSiBridge 中的移动荷载分析

筑信达 吕良

桥梁设计的作用一般包括永久作用、可变作用、偶然作用和地震作用等，对于普通桥梁的设计偶然作用和地震作用一般考虑较少，而永久作用的计算也较为简单。可变作用由于其作用力大小、作用位置、分布形式等因素的不确定，对整个桥梁结构的受力影响较大，往往是工程师考虑更多的内容之一。

车辆荷载是可变作用中最重要的一部分，也是工程师关注最多的内容之一。车辆荷载由许多参数决定，其中包括车重、轴载、轴距、桥跨、车辆在桥上的位置及车辆数目、上部结构的刚度等。由于各种荷载及荷载组合均带有随机性，在分析中存在一些难以确定的因素，加之现有资料的局限性和倾向性，从而导致建模分析的复杂性。

针对移动荷载分析的复杂性，CSiBridge 程序提供了强大灵活的分析功能。软件采用参数化的建模方式，不仅能快速建立复杂结构的分析模型，并且软件将车道信息与结构信息分开存储，使车道无需依附于结构形式来布置。用户无需考虑车道荷载的传递方式，仅需按照需求布置车道形式即可，极大简化了工程师的建模工作。

做移动荷载分析时，对于一些复杂结构仅采用框架单元来模拟上部结构往往会丢失很多细节信息，在 CSiBridge 中也可采用壳单元或实体单元来模拟上部结构。结合灵活的车道布置方式，在分析类似匝道桥或多车道变化的桥梁时，可直接显示结构局部位置由车辆荷载产生的最大/最小位移、内力以及应力等。

1 丰富的车辆荷载类型

CSiBridge 中车辆荷载的定义方式有两种：一种是导入基于标准规范而编制的标准车辆，软件内置的荷载规范包括中国公路荷载规范（JTG-2015）、中国铁路荷载规范（TB10002.1）和高铁荷载（ZK），英国的 HA（代表英国正常公路交通、用公式表达的活荷载）与 HB 荷载（特种车辆荷载），美国的 H（M）和 HS（MS）荷载，以及一些其他国家的规范荷载；第二种是工程师自定义的车辆荷载。自定义时一般是将标准荷载转换为一般车辆数据，然后再进行修改编辑。

另外在定义车辆荷载时，软件不仅仅可以考虑由车辆产生竖向力，同时也可定义其产生的水平作用，如制动与加速力、离心力等效应，也可以定义由超高和离心力引起的倾覆力矩，如下图所示。

The screenshot shows the 'Vehicle Data' (车辆数据) dialog box in CSiBridge. It is configured for the AASHTO HL-93M vehicle load. Key settings include: Vehicle Type: HL-93M; Design Type: Vehicle Live; Units: KN, m, C; XML File: AASHTO.xml; Span Effects: Concentrated (集中荷载) and Uniform (均匀); Vehicle Position: Vehicle only applied to overlapped lanes (车辆仅施加到跨越(相邻)车道); Application: Support reactions (支座车道负弯矩), Internal vertical reactions (内部垂直支座力), and All other reactions (所有其它反应); Axle Load Minimum Displacement: 0.3048 for outer edge (车道外边缘) and 0.6096 for inner edge (车道内边缘); Center of Gravity: Height for concentrated load (高度 - 集中荷载) and uniform load (高度 - 均布荷载) are both set to 0. The dialog also includes visual representations of the load plane and load side view, and buttons for modifying vertical and horizontal loads.

图 1 AASHTO HL-93M 车辆荷载



2 简单的加载方式

CSiBridge 采用参数化的建模方式，桥梁所有的信息均存储于“构件”当中。在软件中开始建立一个新的桥梁模型时，用户首先需要定义布局线，然后定义好各个“构件”的信息，如车道、桥墩、桥台、支座等，最后将这些“构件”组合成桥梁。当其中某一部分构件的信息发生更改时，仅需修改该构件的信息，更新模型，软件会自动调整其余部分构件与其匹配。

其中车道就属于一个独立的“构件”。不同于其他类型软件，工程师需通过主梁或指定一些横向联系梁来确定车道的位置，CSiBridge 中车道的布置形式仅与布局线有关，定义时用户可以选择依据结构布局线定义车道，或者重新定义一个布局线来定义车道。定义好车道之后用户只需指定荷载在车道上的分布形式，软件会自动计算并将相应的荷载传递给结构，不需要用户处理车道与结构之间的连接关系。

对于一些直线桥梁，无论是建模、分析、设计都是比较简单的，但是对于曲线梁桥，如果需要通过主梁或者横向联系梁来确定车道的分布还是比较麻烦的，如下图 2a 中的匝道桥。特别是采用壳单元或是实体单元来模拟时，常规的指定车道的方式已经不在适用。但是在 CSiBridge 中，用户只需将车道布置的参考线选为结构的布局线，无论上部结构离散为杆系单元、壳单元、或是实体单元，软件均能自动处理。



图 2a 匝道桥

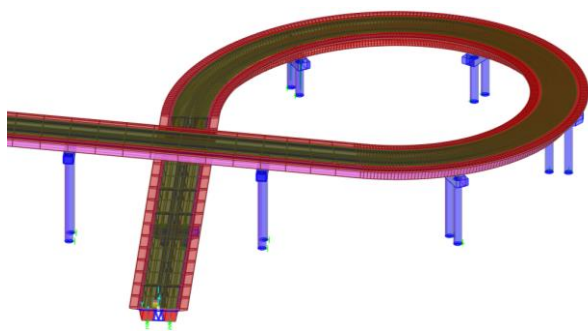


图 2b CSiBridge 分析模型

另外对于一些直线桥梁，有时候需要考虑车辆按特定的轨迹运动。比如某些时候路线的曲率半径很大，为简化设计，常常会将该曲线段的桥梁设计成直线桥梁。这就会导致车辆在该桥上运行时并不是沿桥梁中心线方向运动，而是沿一个特定的曲线运动，类似下图所示。此时结构的布局线于车道的布局线不在同一条直线上。在 CSiBridge 中仅需重新定义一条布局线即可完成该类型车道的定义。

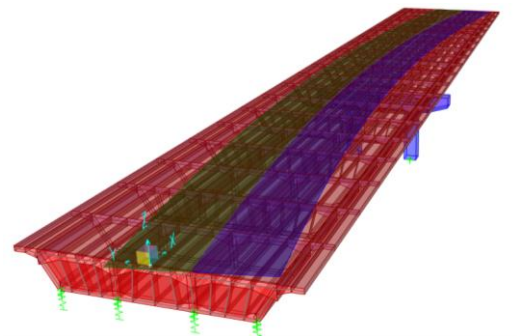
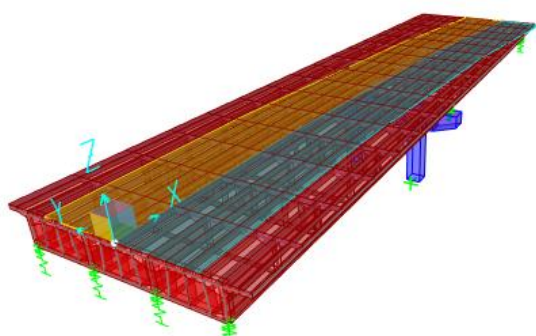


图 3 弯桥直做

3 浮动车道

一般来说，用户指定的车道位置是固定不变的，真实情况下车辆也有可能会偏移车道移动，用户指定的车道位置有可能并没有包含最不利的位置。因此为了保守计算，可能需要设定多个车道分布形式，并设定多个工况来进行分析，最后将结果取包络值。整个过程繁琐，并且人为指定车道位置的方式也无法保证取到最不利值。针对上述问题，CSiBridge 中引入了浮动车道的概念。



浮动车道是指在分析时车道的横向位置将自动变化以计算每个响应的最大影响值，但是车道的宽度不变。采用浮动车道时需要将多个浮动车道指定到一个车道集。车道集的宽度确定了能够布置的浮动车道数量，以及它们横向移动的空间，即“浮动”范围。车道集当中的浮动车道不能彼此交叉和重叠。分析时，如果有多个浮动车道，软件会自动将其分为组，以组为单位进行横向移动找到结构加载的最不利位置。如图 4 所示，该模型中设立了四个浮动车道，并将四个浮动车道指定到一个车道集合中。分析时，软件会依据相邻的浮动车道进行分组，然后使不同的分组在车道集内横向移动，找到移动荷载作用的最不利位置，图-4 即为其中的一种分组方式。

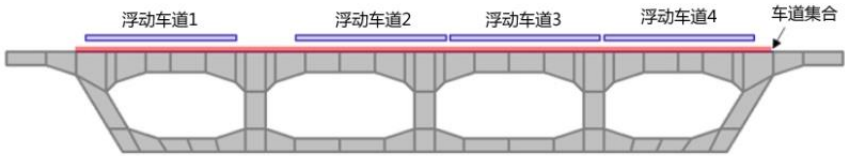


图 4 浮动车道分为两个连续组

4 两种活荷载分析类型

4.1 基于影响线的包络分析

进行桥梁分析设计时，一般采用基于影响线或影响面的包络分析来确定结构各个位置的最不利荷载。影响线是针对零宽度的车道进行计算的，而影响面是针对具有一定宽度的车道进行计算的。分析时，车辆将沿着桥梁的每个车道双向行驶，利用影响面，程序自动将车辆布置在最不利位置（同时考虑顺桥向和横桥向），使结构产生最大或最小响应。如果设置有浮动车道，程序首先会通过移动浮动车道的位置，来得到最大影响的横向布置。用户可限定车辆作用的车道数，或者指定车辆作用的几条车道，也可以直接由程序决定最不利的施加方式。通过上述过程，软件将计算出在移动荷载作用下结构的最大/最小响应值，并且在计算车辆荷载作用时，可考虑竖向和水平荷载。

4.2 逐步分析方法

对于一些特殊的研究或超常规的车辆，可通过逐步分析方法来研究其对桥梁结构的作用。采用逐步分析时，用户需要设置一个或多个车道，并在车道上指定对应的车辆荷载，同时还需要指定车辆的起始位置、开始时间、行驶方向和速度等参数，定义窗口如图 5 所示。定义完荷载模式之后，在分析工况中用户可以选择执行多步静力分析或时程分析。

如果选择多步静力分析，软件将从零时间开始按每个时间步单独进行线性静力求解。每次求解均是独立的，计算结果反映了车辆在当前位置时，桥梁结构的受力状态。用户可以绘制车辆沿结构行驶时结构所产生的位移或应力，也可输出包络结果。如果选择时程分析，程序将对车辆创建一个独立的时程函数。当荷载作用在相应的位置时，该时程函数将在一个时间步内由 0 增加到 1，然后在下一个时间步中从 1 减为 0。在一个时间步中任意时间所施加的荷载，为这一时间步开始时和结束时荷载的线性插值。通过这种方式来考虑结构的动态响应。



图 5 活载逐步分析参数定义

5 小结

随着工程设计的复杂程度不断提高，分析设计的要求必然也更加精细。对于一些宽桥、弯桥、斜桥，或者一些特殊的匝道桥，常规的杆系模型分析方法在处理这些工程问题时已捉襟见肘。如果再考虑复杂的车道形式，车道布置等问题，必然给工程师分析及设计造成极大的困扰。CSiBridge 以参数化建模方式，极大简化了结构建模与非规则车道布置的问题，适用于杆系模型、壳单元模型和实体模型，有效提高了分析精度。并引入浮动车道的概念，能更加准确地捕捉到结构的最不利加载形式。不仅能完成常规的基于影响线的包络分析，也可进行一些特殊车辆的逐步分析。在满足桥梁分析的功能性与实用性的基础上，CSiBridge 必能成为工程师强有力的分析设计工具。

ETABS 美标剪力墙、连梁设计

筑信达 李立 吴文博

本文将基于 ACI 318-14 规范（以下简称 ACI）讨论钢筋混凝土剪力墙、连梁设计在 ETABS 中的实现细节。本文重点介绍程序如何实现规范的相关要求，解释相关设计参数、结果表达的含义，希望帮助用户了解 ETABS 实现了规范的哪些要求，能自主修改设计参数，并读懂程序输出的设计结果细节。

1. ETABS 剪力墙设计的通用准则

ETABS 有一套适用于剪力墙设计的通用准则，能够将壳应力转换为构件内力，并能灵活设置墙肢形状，这是实现剪力墙设计的前提。以下介绍这些通用准则，它们适用于所有国家的设计规范。

1.1 墙肢\连梁标签

剪力墙和连梁在 ETABS 中是用壳单元模拟，壳单元的应力结果不能直接用于构件的配筋设计。因而，ETABS 使用“标签”来界定墙肢、连梁构件，统计其内力并用于配筋。所以，同一楼层中不同的墙肢、连梁要指定不同的标签名称。但不同楼层之间的标签名称可以重复，因为程序可以通过楼层来区分而不会混淆。

如果在墙的两端绘制了柱，可以对端柱指定与墙肢相同的标签，这时程序将墙肢和端柱作为整体来统计内力并进行设计。如图 1 所示，程序通过识别标签，自动计入墙两端柱后形成 SD 截面。

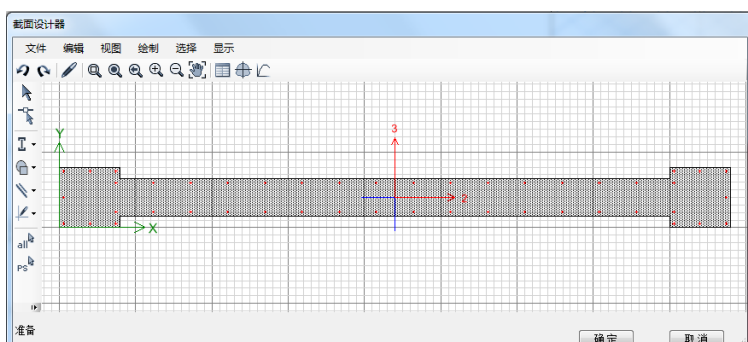


图 1 通用墙肢 SD 截面

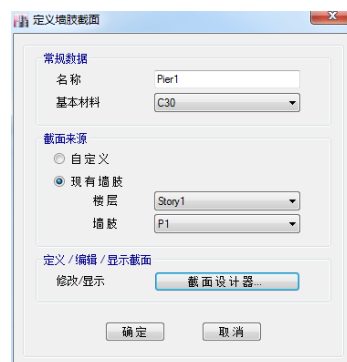


图 2 定义通用墙肢截面

1.2 设计测站

设计测站即设计截面所在的位置。ETABS 取墙肢的顶部和底部和连梁的左端和右端分别统计内力、设计配筋并输出结果。如果想得到墙肢或连梁中部的的设计结果，只能将其打断。注意，如果将连梁打断成两段或更多，会影响其抗震斜向配筋的计算。此时，斜筋的角度与每段的长度相关，而不是整个连梁的跨度，将低估斜筋所需的面积。

1.3 通用墙肢截面

通用墙肢截面是通过截面设计器来定义的墙肢截面，即 SD 截面。这类截面可以来自现有的墙肢（即图 1 的情况），也可以由用户自定义。通过命令【设计>剪力墙设计>定义通用的墙肢截面】打开如图 2 所示的对话框，即可对指定墙肢的几何形状和配筋进行编辑。程序可对编辑后的墙肢截面进行配筋设计或校核。

2. 墙肢设计

对于压弯设计，ETABS 提供三种墙肢设计方法选项，简化法（Simplified C&T Section）、均匀配筋法（Uniform Reinforcing Pier Section）和通用配筋法（General Reinforcing）。后两种方法除了用于设计，还可以用于校核。从原理上，均匀配筋法和通用配筋法是一样的，都是基于 P-M-M 相关面来设计或校核墙肢。差异在于两者的钢筋分布方式不同，均匀配筋法所使用的钢筋直径和间距在截面内是相同的，通用配筋法只针对通用墙肢截面，其截面形状和配筋方式都由用户指定。以下介绍简化法和均匀配筋法的原理。



2.1 简化法

简化法的原理是将墙肢的轴力、弯矩等效为两端暗柱的轴力，然后对暗柱进行配筋计算。该方法适用于一字型墙肢的设计。如图 3 所示，首先将墙肢内力 P_u 、 M_u 等效为 P_{left} 和 P_{right} （图中下标 top、bot 代表墙肢顶部、底部），然后程序初始设定暗柱的边长等于墙厚度，即 $B=t_p$ ，若其配筋结果超过最大配筋率，程序按步长 $t_p/2$ 放大 B 进行迭代，直至满足设计要求，程序输出暗柱尺寸和配筋面积（当 $B=L_p/2$ 仍不能满足设计要求时，程序将输出超筋警告）。注意，在计算过程中，暗柱内的所有纵筋假定位于其中心位置；最大配筋率可以通过首选项、覆盖项设定或修改。

用户也可以通过覆盖项指定暗柱的边长（宽度和高度），这时程序只计算配筋，不会对暗柱边长进行迭代计算。图 4 列举了简化法可以处理的三种暗柱形式，（a）两端暗柱尺寸由程序自动判断，此时暗柱沿墙肢方向的边长可变，宽度与墙厚一致；（b）两端暗柱的边长都由用户指定；（c）一端暗柱由用户定义，另一端由程序自动判断。后两种情况，用户自定义的暗柱边长在设计过程中是不变的。

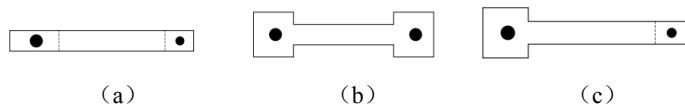


图 4 用于简化法的三类边缘约束区

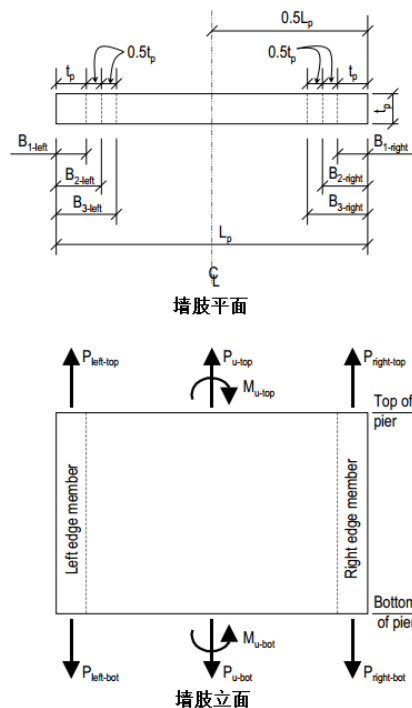


图 3 简化法设计原理

2.2 均匀配筋法

均匀配筋法是利用 P-M-M 相关曲面来校核或设计墙肢截面。这时，墙肢的纵向钢筋是均匀分布的，当已知截面尺寸、钢筋尺寸间距、材料强度时，程序将自动计算其 P-M-M 曲面，并考虑规范的相关要求。如图 5，是典型的一字型墙肢 P-M₃ 相关曲线。纵轴是轴力 P（拉为正，压为负），横轴是弯矩 M₃。

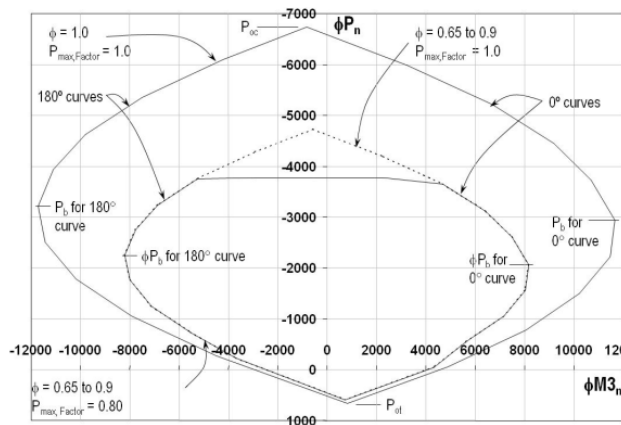


图 5 墙肢 P-M₃ 曲线示例

依据 ACI 的规定 (ACI 21.2.1, 21.2.2)，程序考虑强度折减系数的影响。当截面受拉控制时， $\phi=0.9$ （默认值）；当截面受压控制时， $\phi=0.65$ （默认值）；当截面受力状态介于两者之间时， ϕ 值线性插值计算。程序结合规范的要求根据截面应变来判断受拉或受压控制。若混凝土受压应变达到极限压应变 0.003，当最外侧受拉钢筋的应变小于其屈服应变 ($\epsilon_y = f_y/E$)

时，截面受压控制；当最外侧受拉钢筋的应变超过 0.005 时，截面受拉控制；当最外侧受拉钢筋的应变介于 ϵ_y 和 0.005 之间即过渡状态。图 5 中，外部较大的曲线没有考虑强度折减系数的影响（即 $\phi=1$ ），内部较小的曲线考虑了强度折减系数的影响。



对比内外两条曲线可明显看出， ϕ 值随截面拉压状态的变化，对截面承载力的影响程度不同。

此外，ACI 规定轴压承载力时考虑了折减系数 $P_{\max,Factor} = 0.8$ (ACI 22.4.2.1)。图 5 中，内部实线曲线是按规范要求考虑

$P_{\max,Factor}$ 的影响，所以在该曲线的顶部出现“平台”。

如果是校核墙肢配筋，程序通过判断构件内力是否在相关面以内，来校核当前配筋方案是否满足承载力要求，并输出墙肢的需求/能力比率。如果是设计墙肢配筋，程序会在初始钢筋布置的基础上，变化钢筋面积，再通过相关面校核来确定最终需要的配筋。

2.3 墙肢抗剪设计

墙肢抗剪设计的基本思路是，首先计算混凝土部分承受的剪力 (ACI 11.5.4.6)，再计算需要配置的抗剪钢筋，并同时满足最大受剪截面要求 (ACI 11.5.4.3)，以及纵、横向分布钢筋的最小配筋率要求 (ACI 11.6)。对于有震组合，还要依据抗震结构的要求，调整最大受剪截面限值 (ACI 18.10.4)、最小配筋率等计算 (ACI 18.10.2)。最后，程序输出抗剪水平分布钢筋结果 A_v/s ，这是基于强度计算所得，分布钢筋的间距等构造要求需要工程师自行核算。

2.4 计算边缘构件 (Boundary Element)

对于有抗震要求的墙肢，应检查是否需要配置特殊边缘构件 (special boundary element)。ACI 318 提供了两种方式来判定需要配置特殊边缘构件：1) 墙肢截面受压区高度超过规范限值 (ACI 18.10.6.2)；2) 墙肢最外侧混凝土纤维的压应力超过 $0.2f'_c$ (ACI 18.10.6.3)。前一种方式适用于以压弯变形为主的、沿高度连续的抗震墙，见图 6 (a)，后一种方式理论上适用于任何形式的抗震墙，但一般把它应用于开洞不规则的墙体，见图 6 (b)。ETABS 实现了这两种判定方式，自动判断并计算边缘构件的范围。

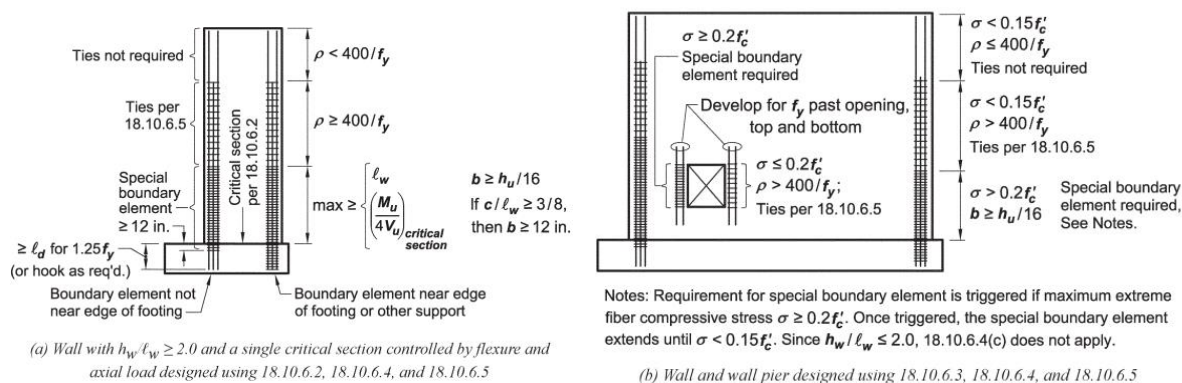


图 6 抗震墙边缘构件分布示意图 (ACI Fig. R18.10.6.4.2)

边缘构件的长度依据 ACI 18.10.6.4 (a) 计算，即 $\max(c/2, c - 0.1L_w)$ 。下表是 ETABS 输出的墙肢边缘构件校核信息，

各项含义见随后的列表。以表格中第一行数据为例，墙肢最外侧混凝土纤维压应力为 11.69MPa，超过了规范限值 5.52MPa，同时，墙肢受压区高度为 2250mm 也超过了规范限值 1733.3mm，此时计算得到约束边缘构件区长度为 1470mm。

Boundary Element Check (边缘构件检查)

Station Location	ID	Edge Length (mm)	Governing Combo	P _u kN	M _u kN-m	Stress Comp MPa	Stress Limit MPa	C Depth mm	C Limit mm
Top-Left	Leg 1	1470	DWal7	27361.5787	18.3851	11.69	5.52	2250	1733.3
Top-Right	Leg 1	1470	DWal7	27361.5787	18.3851	11.7	5.52	2250	1733.3
Bottom-Left	Leg 1	1620	DWal7	28055.7263	703.2225	11.76	5.52	2400	1733.3
Bottom-Right	Leg 1	1620	DWal7	28055.7263	703.2225	12.22	5.52	2400	1733.3



项目	解释
Edge Length	特殊边缘构件的长度 当 $\text{Stress Comp} > 0.2f'_c$ 或 $C \text{ Depth} > C \text{ Limit}$ ，需要配置特殊边缘构件，这里输出其长度值。 当 $0.15f'_c \leq \text{Stress Comp} \leq 0.2f'_c$ ，不需要配置特殊边缘构件，但这里仍输出长度值，因为按 ACI 18.10.6.3 的规定，边缘构件应延伸至 $\text{Stress Comp} < 0.15f'_c$ 的区域。 当 $\text{Stress Comp} < 0.15f'_c$ ，这里输出 “Not Required”（不需要）
Stress Comp	外侧边缘纤维应力
Stress Limit	应力限值，即 $0.2f'_c$
C Depth	墙肢截面受压区高度
C Limit	按 ACI 18.10.6.2 计算的限值

3 连梁设计

3.1 连梁抗弯设计

抗弯设计时，程序根据连梁上最不利的正、负弯矩来计算其底部和顶部的纵筋。计算底部钢筋时，连梁可按矩形或 T 形截面进行设计，T 形截面的翼缘宽度和高度在设计覆盖项中设置。顶部钢筋仅可按矩形截面设计。下图即连梁抗弯纵筋的设计结果，连梁顶部和底部分别输出两端（Left、Right）的配筋面积（Reinf Area）、控制组合（Combo）及内力（Moment）。

Spandrel Flexural Design—Top Reinforcement（连梁顶部纵筋）

Station Location	Reinf Area mm ²	Reinf Percentage	Reinf Combo	Moment, M_u kN-m
Left	1350	0.3	DWal8	-622.9946
Right	1350	0.3	DWal7	-633.1549

Spandrel Flexural Design—Bottom Reinforcement（连梁底部纵筋）

Station Location	Reinf Area mm ²	Reinf Percentage	Reinf Combo	Moment, M_u kN-m
Left	1350	0.3	DWal11	515.1336
Right	1146	0.25	DWal12	423.8276

3.2 连梁抗剪设计

抗剪设计时，程序首先确定混凝土部分的抗剪承载力（ACI 22.5.5.1），并且可以考虑轴力对该承载力的影响（ACI 22.5.6.1，22.5.7.1）。也可以通过覆盖项将混凝土部分的抗剪承载力人为设为 0，从而忽略混凝土部分的贡献。接下来，程序计算所需抗剪钢筋（ACI 22.5.10.3，11.5.4.8），同时要满足最小配筋率要求。对于有震组合，程序还将计算抗剪斜筋。以下为连梁抗剪设计结果。

Spandrel Shear Design（连梁抗剪箍筋）

Station Location	A_{vert} mm ² /m	A_{horiz} mm ² /m	ShearCombo	V_u kN	ϕV_c kN	ϕV_s kN	ϕV_n kN
Left	2076.16	750	DWal7	922.4063	226.7158	695.6904	922.4063
Right	2125.52	750	DWal7	938.9476	226.7158	712.2317	938.9476

上表中， A_{vert} 为竖向箍筋， A_{horiz} 为水平配筋（构造）， V_c 和 V_s 分别为混凝土和抗剪箍筋的抗剪承载力。



Spandrel Shear Design—Diagonal Reinforcement (连梁对称斜筋)

Station Location	A _{diag} mm ²	Shear Combo	V _u kN	V _{uLimit} kN	L/H Ratio	Seismic Design	Diag Reinf Mandatory
Left	1855	DW17	922.4063	706.4217	0.8	Yes	Yes
Right	1888	DW17	938.9476	706.4217	0.8	Yes	Yes

上表中，A_{diag} 为对角斜筋面积；V_{uLimit} 和 L/H（跨高比）是用于判断是否需要对称斜筋的条件，即 ACI 18.10.7.2 中的 $4\lambda\sqrt{f_c}A_{cw}$ 和 l_n/h 。按规范要求，当 $V_u \geq V_{uLimit}$ 及 $L/H \leq 2$ 时，应该配置对称斜筋。当 $2 < L/H \leq 4$ 时，对称斜筋非必须，但程序此时仍会计算输出其面积，供工程师参考。当 $L/H > 4$ 时，不配置对称斜筋。

4 设计首选项与覆盖项

以上介绍了 ETABS 实现美标墙肢、连梁设计的方法或思路，其中多次提到通过首选项或覆盖项来设置、修改设计参数。ETABS 通过首选项和覆盖项来实现交互式设计。以下各表对美标剪力墙设计的首选项、覆盖项进行详细的解释。

剪力墙设计首选项

项目	可能值	默认值	含义
Design Code	程序中已有的规范	-	选择设计规范
Multi-Reponse Case Design	Envelopes Step-by-Step Last Step Envelopes-All Step-by-Step-All	Envelopes-All	在设计中如何考虑多值工况（例如时程、静力非线性或多步静力工况）。这里可以选择使用包络值、每步结果、最后一步结果等。
Rebar Material	任一已定义的钢筋材料	-	抗弯设计时的钢筋材料
Rebar Shear Material	任一已定义的钢筋材料	-	抗剪设计时的钢筋材料
Design System Rho	>0	1	抗震体系的冗余系数
Design System Sds	>0	0.5	用于抗震设计组合时考虑竖向地震效应,影响设计组合
Importance Factor	>0	1	重要性系数（地震）
System Cd	>0	5.5	变形放大系数 Cd
Phi (Tension Controlled)	>0	0.9	抗弯设计时的强度折减系数（拉力控制）
Phi (Compression Controlled)	>0	0.65	抗弯设计时的强度折减系数（压力控制）
Phi (Shear and/or Torsion)	>0	0.75	抗剪设计时的强度折减系数（非抗震）
Phi (Shear Seismic)	>0	0.6	抗剪设计时的强度折减系数（抗震）
Pmax Factor	>0	0.8	ACI 规定轴压承载力时考虑的折减系数
Number of Curves	≥4	24	绘制相关曲面时所需要的相关曲线数量（4 的倍数）
Number of Points	≥11	11	绘制相关曲线时所需点的数量（奇数）
Edge Design PT-Max	>0	0.06	边缘构件受拉钢筋的最大配筋率
Edge Design PC-Max	>0	0.04	边缘构件受压钢筋的最大配筋率
Section Design IP-Max	≥Section Design IP-Min	0.02	墙肢使用 SD 截面时的最大配筋率
Section Design IP-Min	>0	0.0025	墙肢使用 SD 截面时的最小配筋率
Utilization Factor Limit	>0	1	应力比限值

墙肢设计覆盖项

项目	可能值	默认值	含义
Design this Pier	Yes or No	Yes	执行墙肢设计



LL Reduction Factor	>0	1	活荷载折减系数，只对 reducible live load 有效。输入 0 代表由程序计算。
Design is seismic	Yes or No	Yes	是否考虑抗震设计相关的规范要求。
Pier Section Type	Simplified T and C Uniform Reinforcing General Reinforcing	Uniform Reinforcing	墙肢设计类型，即墙肢设计时所使用的方法
以下是选择 Simplified T and C 时对应的墙肢设计覆盖项			
Thick Bottom/Top	>0	程序计算	墙肢底部/顶部的厚度
Length Bottom/Top	>0	程序计算	墙肢底部/顶部的长度
DB1 Left/Right Bottom/Top	≥ 0	0	墙肢底部/顶部的左端/右端 自定义边缘构件的长度
DB2 Left/Right Bottom/Top	≥ 0	0	墙肢底部/顶部的左端/右端 自定义边缘构件的宽度
Material	任一已定义的混凝土材料	截面定义时使用的材料	墙肢设计使用的混凝土材料
Edge Design PT-Max	>0	0.06	边缘构件受拉钢筋的最大配筋率
Edge Design PC-Max	>0	0.04	边缘构件受压钢筋的最大配筋率
以下是选择 Uniform Reinforcing 时对应的墙肢设计覆盖项			
End/Corner Bar Name	任一已有的钢筋型号	#5	端部、角部的钢筋尺寸
Edge Bar Name	任一已有的钢筋型号	#5	沿边均匀分布的钢筋尺寸
Edge Bar Spacing	>0	12"	沿边均匀分布的钢筋间距
Clear Cover	>0	1.5'	边钢筋、端部/角部钢筋的净保护层厚度
Check/Design Reinforcing	Check or Design	Design	选择设计或校核墙肢截面
Check Compression Block Depth for BZ?	Yes or No	No	是否通过墙肢受压区高度来判断是否设置边缘构件？选择 Yes 执行 ACI 18.10.6.2；选择 No 执行 18.10.6.3

连梁设计覆盖项

项目	可能值	默认值	含义
Design this Spandrel	Yes or No	Yes	执行连梁设计
LL Reduction Factor	>0	1	活荷载折减系数，只对 reducible live load 有效。输入 0 代表由程序计算。
Design is seismic	Yes or No	Yes	是否考虑抗震设计相关的规范要求。
Length	>0	程序计算	连梁跨度
Thick Left/Right	>0	程序计算	连梁截面宽度，默认来自对象尺寸，左端和右端可以分别修改。
Depth Left/Right	>0	程序计算	连梁截面高度，默认来自对象尺寸，左端和右端可以分别修改。
Cover Bottom Left/Right	>0	程序计算	连梁底部到底部纵筋质心的距离
Cover Top Left/Right	>0	程序计算	连梁顶部到顶部纵筋质心的距离
Slab Width Left/Right	≥ 0	0	连梁按 T 形截面设计时的楼板宽度
Slab Depth Left/Right	≥ 0	0	连梁按 T 形截面设计时的楼板厚度
Material	任一已定义的混凝土材料	截面定义时使用的材料	连梁设计使用的混凝土材料
Consider Vc?	Yes or No	Yes	选择是否考虑混凝土部分提供的抗剪承载力 Vc



CSI 软件面对象边释放、偏移、厚度覆盖项功能的应用

筑信达 张振鹏 李立

本文将介绍 CSI 系列软件中针对于面对象的三个功能：面边释放、面节点偏移、面厚度覆盖，主要包括其操作步骤、适用范围和原理。

在楼板等结构中，常遇到板与板之间传力不连续的情况，例如简支板、预制板以及结构缝两边的板，这时板与板之间可能是简单的搭接，也可能完全分离，程序中可以使用“边释放”功能来模拟这一结构行为。

在筒仓、水塔、堤坝等结构中，其壁板常常是变厚度的；在建筑结构中，局部降板或不同厚度的楼板偏移对齐等情况也很常见。这些情况需使用“面厚度覆盖项及节点偏移”功能来模拟板厚度的变化和板的偏移。

本文将分为两部分，分别介绍“面边释放”和“面厚度覆盖项及节点偏移”。

1 边释放

我们以一简单结构为例，展示在 SAP2000 当中施加边释放的过程、边释放的原理以及边释放在 ETABS 和 SAFE 当中的实现。

如图 1 所示，该结构由三块混凝土简支楼板组成，边长均为 6m，每块板四周节点设有固定支座来模拟框架柱的支承，楼板用薄壳单元模拟，板厚度为 250mm，采用 C30 混凝土。

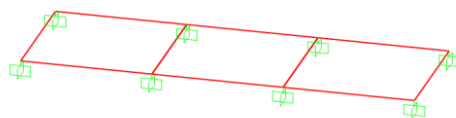


图 1 三块简支板示例

1.1 SAP2000 操作说明

在 SAP2000 中设置边释放步骤如下：

(1) 选择相应的三块楼板，如图 2 所示；

(2) 通过命令：**指定>面>边释放**，弹出以下对话框，该对话框即为边释放属性对话框，根据该对话框属性将边释放指定到所选的面对象中；

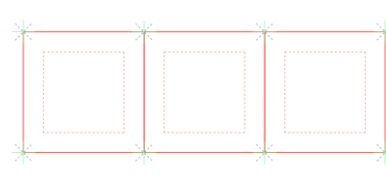


图 2 选中相应单元



图 3 边释放属性

边释放对话框各项参数的解释如下。

边释放选项：在此选项选择不释放、统一指定、单独指定。不释放一般用来取消先前添加的边释放；统一指定是指该面单元所有边均设置相同类型的边释放；在单独指定当中，可以选择特定边的编号（也可以根据相应边两端点标签号选择该边）从而根据实现不同的边设置不同类型的边释放的效果。

边释放数据：在此选项修改各个方向的刚度，可以选择全部释放，即刚度为 0，一般情况下，对于缝的模拟，可以将各个方向刚度全部释放，即两侧的结构完全分离。也可以根据具体情况只释放某些方向的刚度（例如搁置在主体结构上的预制板，有支撑结构但无任何连接装置，不能承受绕边旋转的弯矩，因此释放绕边的弯矩），或者填入相应的刚度数值。



(3) 在该结构当中我们确定需要释放刚度的边的编号 1、2、3 和 4，直接选择统一指定，将相应方向的刚度（绕边弯矩）完全释放；

(4) 点击确定，相应的边释放便指定到面单元上，在模型上显示结果为图 4 所示；

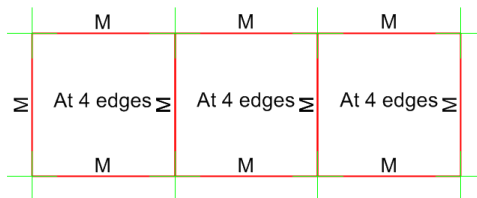


图 4 边释放结果

At 4 edge 意为在 4 条边上进行边释放，M 为沿边弯矩方向。如果显示 I、D、O、T 则分别代表表面内剪切方向、面法线方向、面外剪切方向、沿边扭矩方向的刚度。该边释放设置完成。

(5) 设置面单元自动剖分，运行分析重力荷载工况，显示结果。

设置一个对照模型（该模型不设置边释放），在板面中心线位置做截面切割如图 7 所示。两个模型在自重作用下的分析结果对比如下。可见，未设置边释放时，板与板之间的边界处有少量负弯矩，而设置边释放后该处的弯矩为 0。

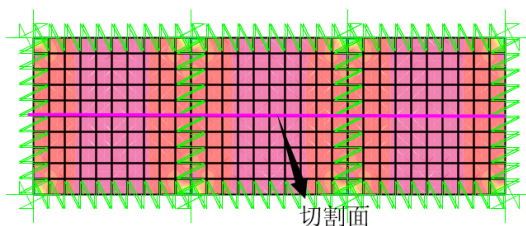


图 5 截面切割位置



图 6 结果对比（左图为设置边释放，右图未设置边释放）

1.2 原理说明

打开设置视图选项当中的分析模型。我们发现：设置边释放，实际上是将相应边上的全部节点（包括自动剖分之后自动生成的节点）先断开（根据图 7 分析模型所示，同一个节点位置上产生了新的节点），然后自动添加连接单元，而连接单元的刚度数值即为边释放参数对话框当中修改的数值。

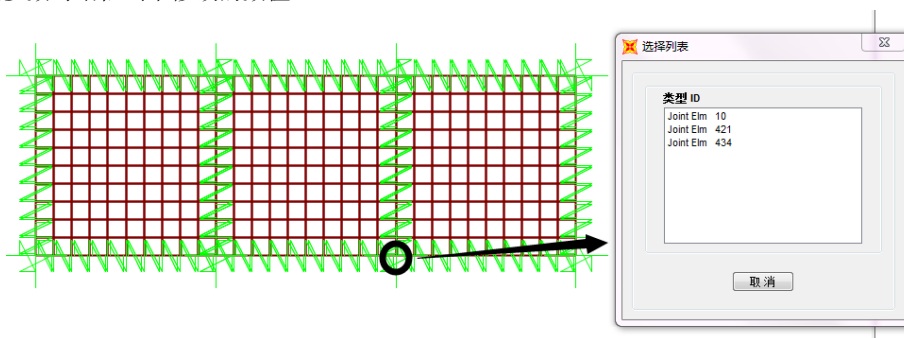


图 7 分析模型



1.3 在 ETABS 和 SAFE 中的实现

ETABS 采用与上文相同的模型，选中相应面单元，点击命令：**指定>面>边释放**，ETABS 与 SAP2000 操作步骤一致。

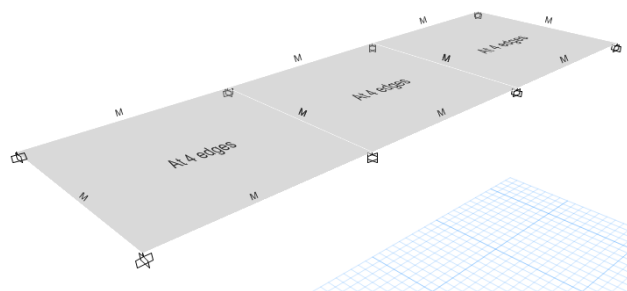


图 8 ETABS 边释放

设置完成之后运行，绘制相同的截面切割，得到如下弯矩图：

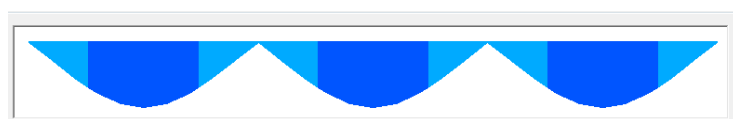


图 9 ETABS 弯矩图

SAFE 同样使用相同的模型，选中相应面单元，点击命令：**指定>板数据>边释放**，边释放参数对话框如图 10 所示，SAFE 仅能释放面外剪切刚度和绕边旋转的抗弯刚度。

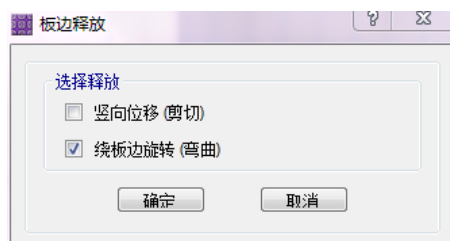


图 10 SAFE 边释放

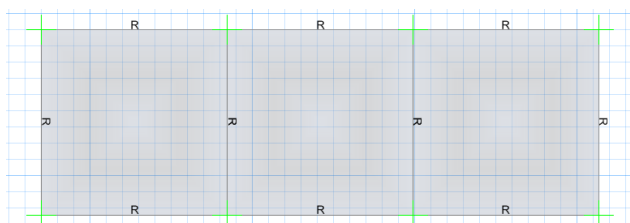


图 11 SAFE 边释放结果

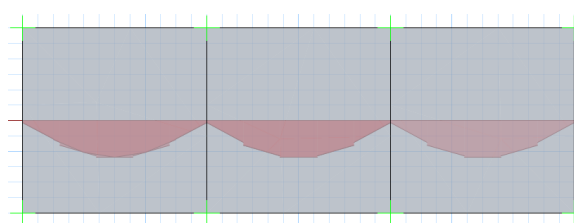


图 12 SAFE 相应位置的板带内力

2 修改厚度覆盖项和节点偏移

修改厚度覆盖项是指修改相应面单元各节点处厚度值，节点偏移是指面单元某个节点沿着某方向移动从而导致该面单元几何属性发生变化。本节将以图 13 结构为例，展示在 SAP2000 当中修改厚度覆盖项和节点偏移的操作流程，同时介绍在 ETABS 和 SAFE 中的类似功能。

图 13 为变厚度挡土墙，横断面形状为直角梯形，顶部厚度为 400mm，底部厚度为 1000mm，一侧侧面完全竖直，另一面倾斜，高 6m，采用壳单元，初始厚度为 250mm。

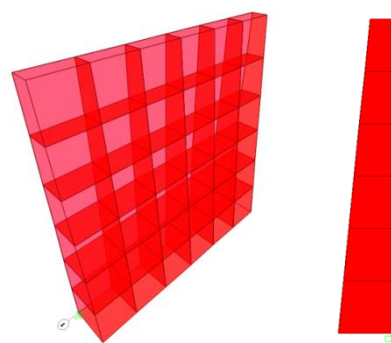


图 13 挡土墙 3D 视图（左）和侧视图（右）



2.1 SAP2000 相关操作

选中需要修改厚度和设置节点偏移的面单元后，点击命令**指定>面>厚度覆盖项（壳）**，弹出图 14 对话框，该对话框上半部分为厚度覆盖项参数，下半部分为节点偏移参数。

该对话框各项参数的解释如下。

（1）厚度覆盖项参数

默认厚度：即不改变面单元厚度，保持不变，设置该参数一般用来取消先前施加的厚度覆盖项修改。

自定义厚度-节点样式：根据节点样式值修改厚度值，节点样式值乘以缩放系数即为该点厚度值。

自定义厚度-节点编号：根据相应节点编号修改厚度值，需要注意的是：该节点编号并不是节点在总体模型当中的编号，而是节点在该面上的编号，两种不同编号之间的对应关系可以在表格当中查看，点击在表格中显示节点厚度值按钮，如图 15 所示，而且也可以在该表格当中添加厚度值。注意：当厚度值为 0 时，程序会将该点的厚度转为默认厚度。

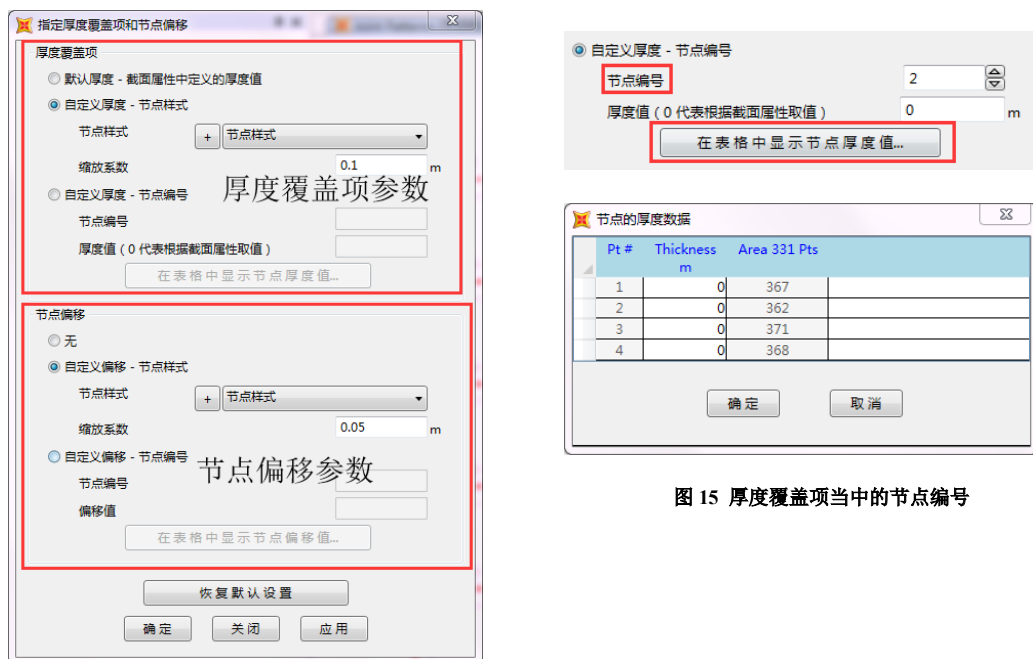


图 14 厚度覆盖项和节点偏移对话框

图 15 厚度覆盖项当中的节点编号

（2）节点偏移参数

无：即不设置面单元节点偏移，保持不变，设置该参数也可以用来取消先前施加的节点偏移。

自定义偏移-节点样式：根据节点样式值设置节点偏移值，节点样式值乘以缩放系数即为偏移值。

自定义偏移-节点编号：根据相应节点编号修改偏移值，节点编号的设定与上一节厚度覆盖中的节点编号相同，同样也可以使用表格设置偏移值。

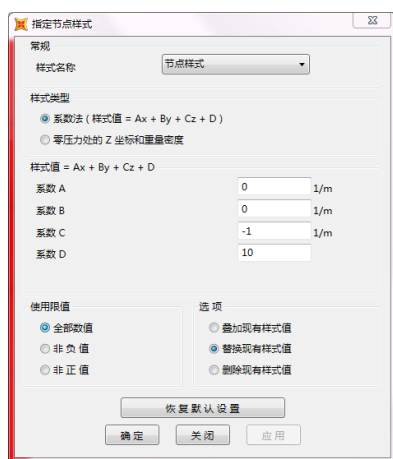
偏移值：在 SAP2000 当中，节点偏移为沿着面法线方向偏移。

接下来建立图 13 的模型，厚度覆盖和节点偏移均采用节点样式赋值，建模步骤如下：

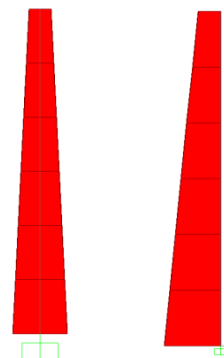
（1）首先设置节点样式。节点样式是与节点坐标值相关的一组标量，本例利用节点样式来描述面对象厚度的变化。根据墙体厚度设置节点样式如图 16 所示，本例节点样式值沿高度线性变化，最终各个节点对应的样式值如图 16 右边所示。

（2）选中需要进行厚度修改或者节点偏移的面单元，这里选择模型中所有面对象；

（3）按照图 16 设置各项参数。面厚度值等于节点样式值乘以缩放系数，例如墙体顶部节点的样式值为 4，缩放系数为 0.1，该处厚度为 $4 \times 0.1 = 0.4\text{m}$ 。如果只设置厚度覆盖项，墙体厚度将沿中轴线向两边均匀变化，如图 17（a）。同时设置节点偏移，将墙体中轴线偏置，才能达到本例想要的效果，如图 17（b）。参数设置完成之后，点击确定。



	1	2	3	4	5	6	7	8
4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00
6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00
7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00	7.00
8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00	9.00
10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00



(a) (b)

图 17

图 16 添加节点样式

2.2 ETABS 相关操作

ETABS 操作步骤与 SAP2000 大致相同，但是与 SAP2000 相比，有三处不同。

其一，厚度覆盖项和节点偏移并不在同一个对话框当中，节点偏移是通过插入点来实现的，如图 18 所示。

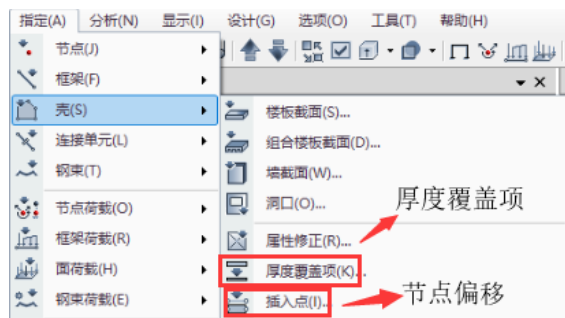


图 18 ETABS 中设置厚度覆盖项和节点偏移的选项

其二，因 ETABS 当中没有节点样式功能，所以不能通过节点样式添加相应的值，但是 ETABS 可以在已选节点处直接赋值。



图 19 ETABS 面厚度和节点偏移可通过已选节点直接赋值

其三，ETABS 通过插入点设置面的节点偏移，而且允许沿局部或整体坐标三个方向进行偏移（SAP2000 只允许面法向方向的偏移）。另外，ETABS 可以重新指定基点，顶、中、底三个面均可设为基点。基点为中面时，节点偏移为零。基点为顶面或底面时，实际节点偏移为面厚度的一半。通过设置基点为顶面或底面，可以实现不同厚度楼板的对齐，让其顶面或底面处于同一位置。

2.3 SAFE 相关操作

SAFE 只能实现面单元整体的竖向偏移，本文以如下模型为例展示如何在 SAFE 中通过设置竖向偏移来实现降板对齐。

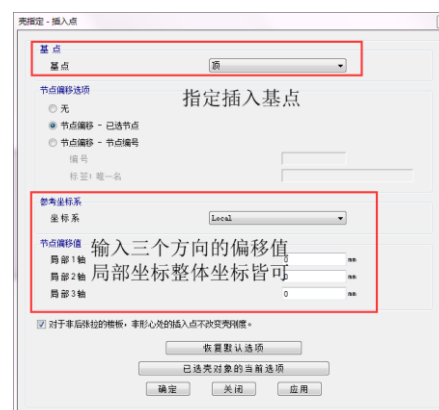


图 20 ETABS 插入点参数

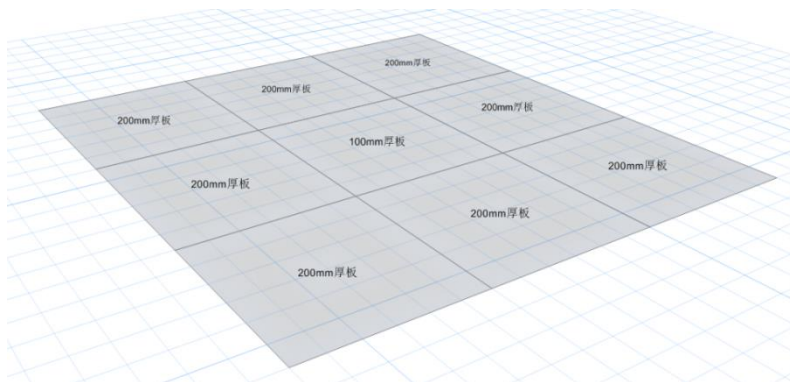


图 21 示例模型

示例模型由 9 块板组成，中间一块楼板厚 100mm 其余厚 200mm。默认情况下，200mm 楼板与 100mm 楼板为上表面对齐，如图 22。如果想将其改为下表面对齐，则选中 100mm 厚的板，使用命令**指定>板数据>竖向偏移**，弹出如图 24 所示的对话框，填入偏移值-100。最终，相应的楼板由上表面对齐变为下表面对齐，如图 23 所示。

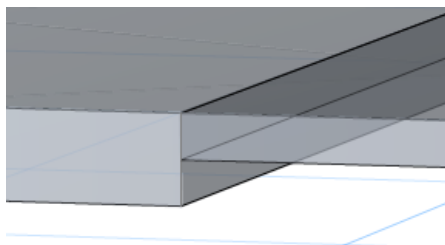


图 22 上表面对齐

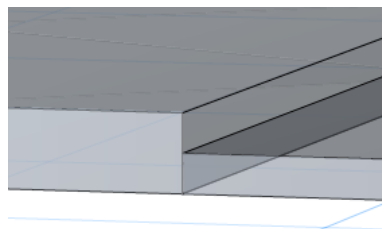


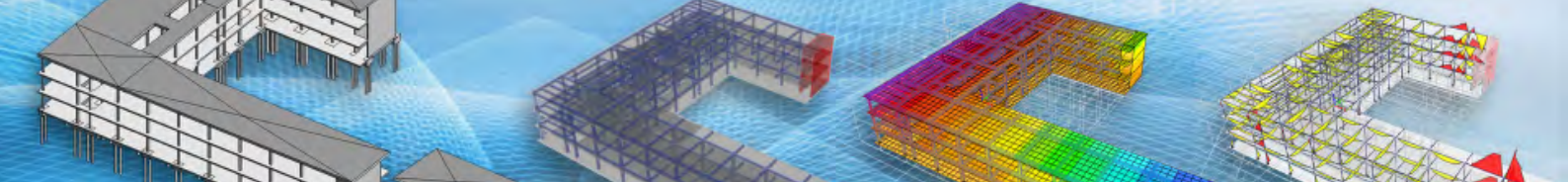
图 23 下表面对齐



图 24 SAFE 偏移值

3 小结

“边释放”可以方便快捷准确地模拟不连续板之间的连接行为，三款软件操作流程基本一致，SAP2000 和 ETABS 允许释放（或修改）所有自由度的连接刚度，SAFE 只允许释放面外剪切刚度和绕边的抗弯刚度。“厚度覆盖项和节点偏移”用来修改面单元几何属性，进而能方便地建立较为复杂的面对象，尤其是 SAP2000 允许根据节点样式来修改厚度值和偏移值，从而能模拟各种变厚度的壳面结构，例如筒仓、水池壁板等。ETABS 对于面节点偏移的设置更加灵活，允许多个方向同时变化。SAFE 通常只用于楼板和筏板分析，所以只允许面沿法线方向的偏移。三款软件的操作和实现效果与软件的应用范围有关，工程师掌握这些功能后，能更便捷地实现自己的想法。



CSI 软件与 Revit 的互导工具 CSiXRevit

筑信达 孙雪艳

随着 BIM 技术的应用与推广，模型数据在不同软件之间的转换需求越来越多。Revit 软件是建筑结构中较为常用的 BIM 应用软件之一，CSI 公司开发的 CSiXRevit 软件，可以在 CSI 产品和 Revit 软件之间进行模型数据的互相转换，为模型搭建工作提高工作效率。

1 CSiXRevit 软件介绍

CSiXRevit 软件是基于 Revit 开发的一款插件，安装成功后在 Revit 软件附加模块面板中的外部工具下能看到 CSiXRevit 软件提供的功能菜单，如图 1 所示。

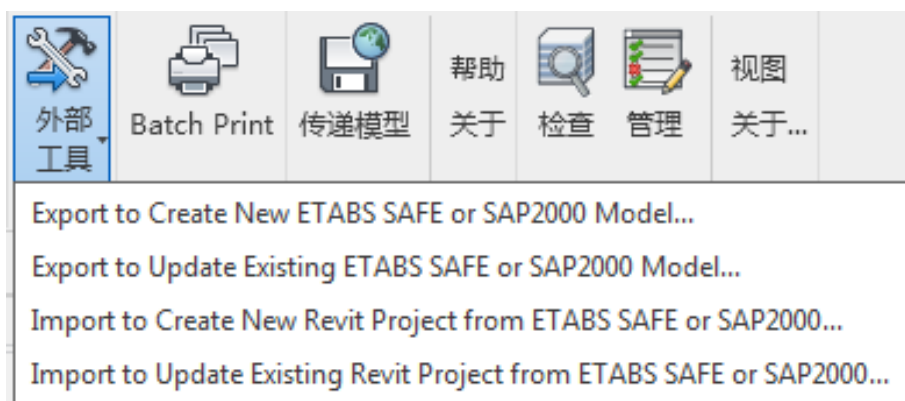


图 1 CSiXRevit 功能菜单

CSiXRevit 软件在 ETABS、SAFE、SAP2000 软件与 Revit 软件之间进行模型的互相转换。包括的功能有 Revit 模型转换为 CSI 模型，Revit 模型更新已有 CSI 模型、CSI 模型转换为 Revit 模型、CSI 模型更新当前 Revit 模型。下面以 SAP2000V20 与 Revit2019 软件为例介绍数据转换的过程。

2 转换过程介绍

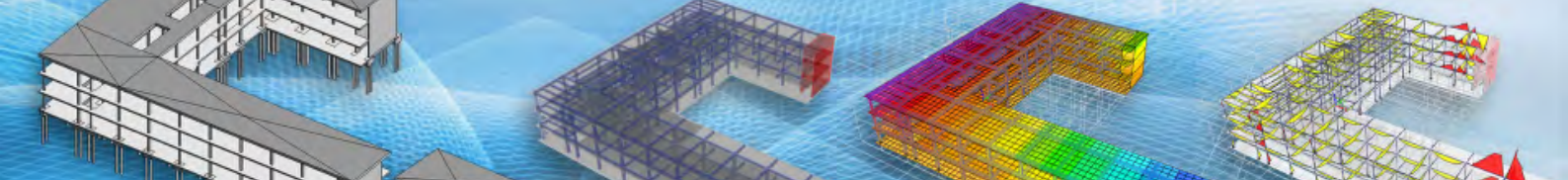
SAP2000 模型和 Revit 模型通过 CSiXRevit 软件可以进行互相转换，其转换过程如图 2 所示。在模型转换中，通过 CSiXRevit 软件，识别中间转换文件格式 .exr 文件，完成模型转换。



图 2 SAP2000 与 Revit 模型互相转换过程

2.1 SAP2000 模型转换为 Revit 模型

SAP2000 模型导出为 .exr 文件，在导出文件对话框中显示识别到的构件和可转换的标高列表。识别构件显示识别的构件类型和数量，默认勾选全部的构件，仅导出部分构件时，可取消部分勾选项。在 SAP2000 软件中没有层概念，Revit 软件需



要层标高进行杆件定位，在导出 exr 文件时标高列表显示的数据是根据模型中点的标高信息进行识别，根据需要勾选标高进行输出，至少要勾选一个标高进行输出。

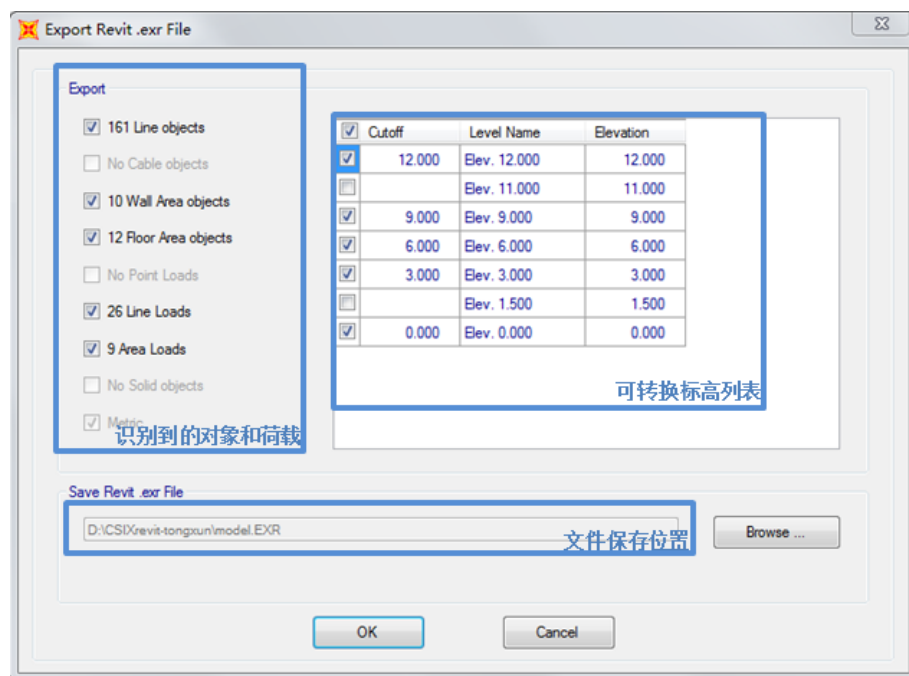


图 3 导出 exr 文件对话框

在 Revit 软件附加模块中，使用导入 exr 文件生成新 Revit 模型功能，进行模型导入。弹出的对话框显示读取 exr 文件识别到的构件类型和数量，软件自动对应截面，截面对应关系不正确时，会有相应提示，需要手动设置截面的对应关系，如图 4 所示。在进行导入时，可一次将 exr 文件中的所有构件添加到当前的模型，也可勾选部分内容添加到当前模型。

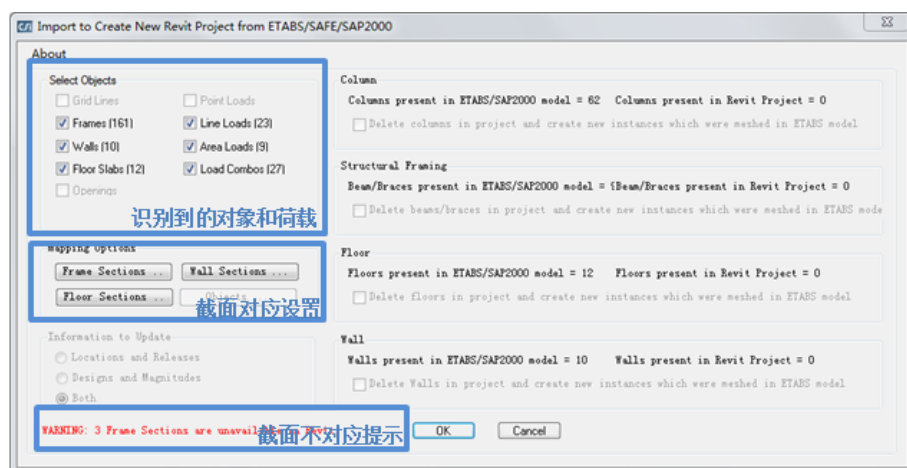
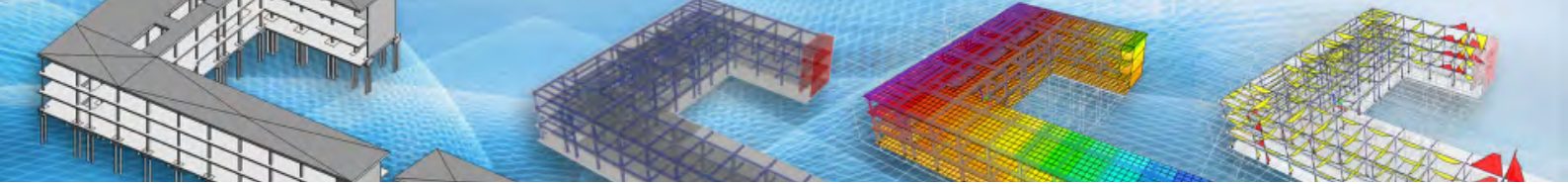


图 4 从 SAP2000 生成新 Revit 模型对话框

图 4 所示的对话框中可根据构件类型设置截面，点击对应的按钮，设置 SAP2000 中使用的截面类型与 Revit 中的族类型的对应关系，如图 5 所示。设置正确的截面族对应关系，导入的模型与 SAP2000 的模型才具有可比性。设置截面对应关系，点击确定，完成模型转换过程，转换后的模型如图 6 所示。如在转换过程中出现问题，可在输出文件中检查具体的问题并解决。打开模型，查看立面视图，可以看到其与转出 exr 文件时选择的标高关系一一对应，如图 7 所示。打开荷载信息可以查看导入的荷载信息和荷载组合，如图 8 所示。



Frame Section Mapping

Column Mapping

ETABS/SAP2000 Section	Revit Family Name	Revit Family Type
col400x400	混凝土 - 矩形 - 柱	300 x 450mm

Beam Mapping

ETABS/SAP2000 Section	Revit Family Name	Revit Family Type
beam400x200	混凝土 - 矩形梁	300 x 600mm

Brace Mapping

ETABS/SAP2000 Section	Revit Family Name	Revit Family Type
beam400x200	混凝土 - 矩形梁	300 x 600mm

OK

Cancel

图 5 截面对应设置

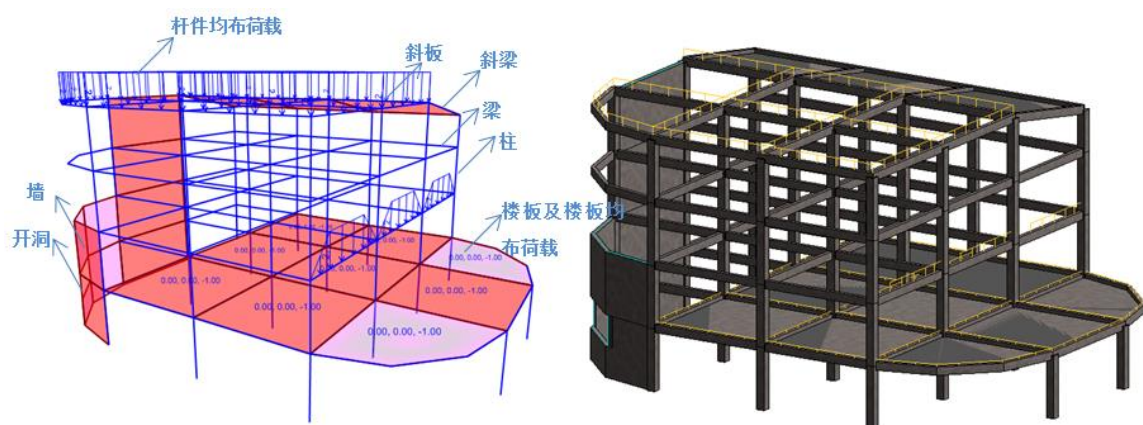


图 6 SAP2000 模型与 Revit 模型对比图

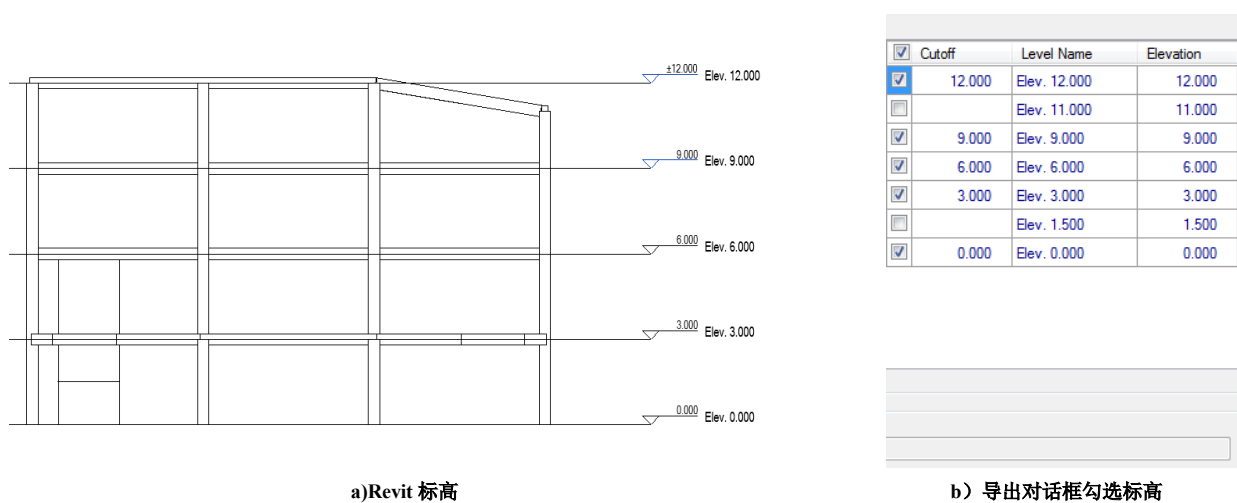


图 7 标高对应关系

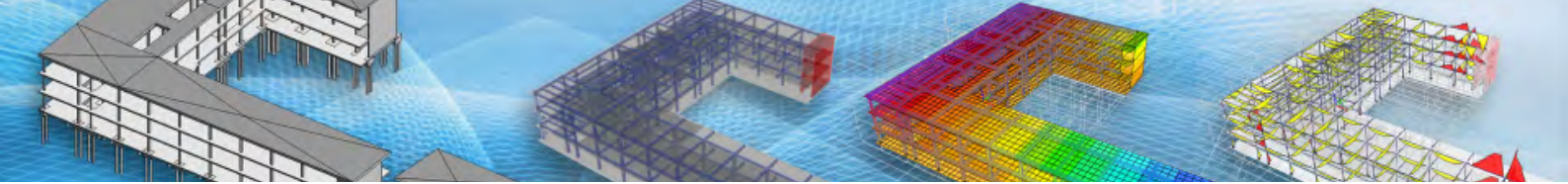


图 8 荷载工况与荷载组合

SAP2000 模型转换为 Revit 模型，可将模型整体导入到现有 Revit 模型，对于同一模型也可在 SAP2000 调整模型后，将修改的信息更新到现有模型。将修改后的 SAP2000 模型导出为 exr 文件，在 Revit 软件中使用附加模块中的从 SAP2000 模型更新当前模型命令，其使用方法与导入 SAP2000 模型相同，更新对话框如图 9 所示，不同之处是增加了更新选项的设置，设置更新模型的内容：位置和端部释放，设计与荷载大小。如仅为部分构件的修改，使用模型更新功能，工作效率更高。完成模型更新后，给出提示对话框，显示更新的数据，如图 10 所示。

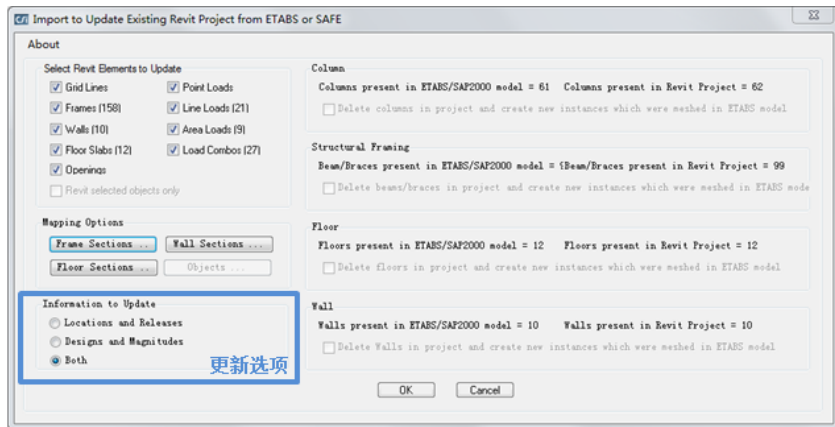


图 9 更新模型对话框

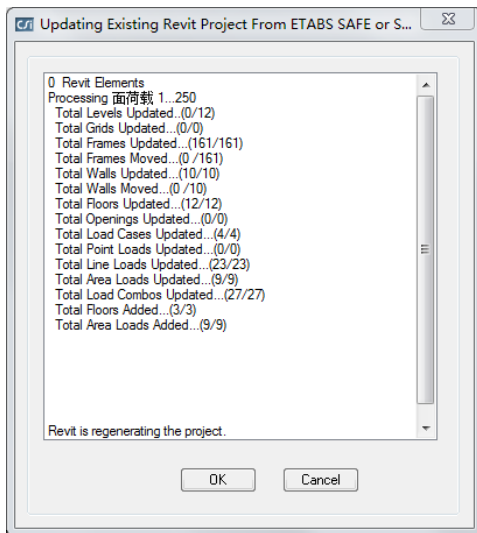
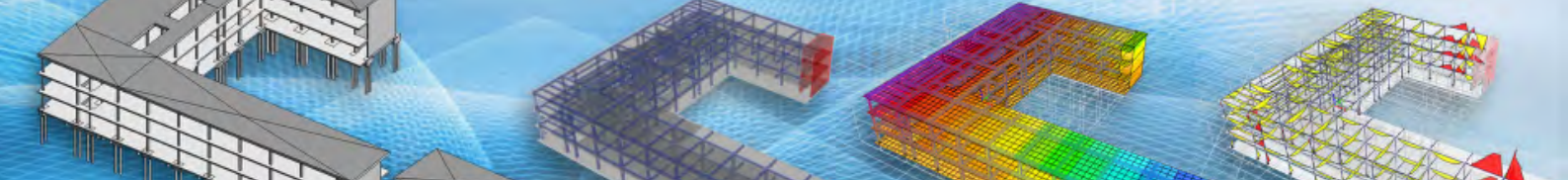


图 10 更新数据显示



在如图 11-a 所示的模型中，选中的构件截面为混凝土矩形梁，截面尺寸为 400x200mm，在 SAP2000 中修改其截面布置为 300x200，更新模型后，模型信息如图 11-b 所示。此外，构件的删除、添加、修改等均可以使用更新模型功能，如图 12-a 所示，模型中增加悬挑梁构件，更新模型后，模型如图 12-b 所示。



图 11 属性更新

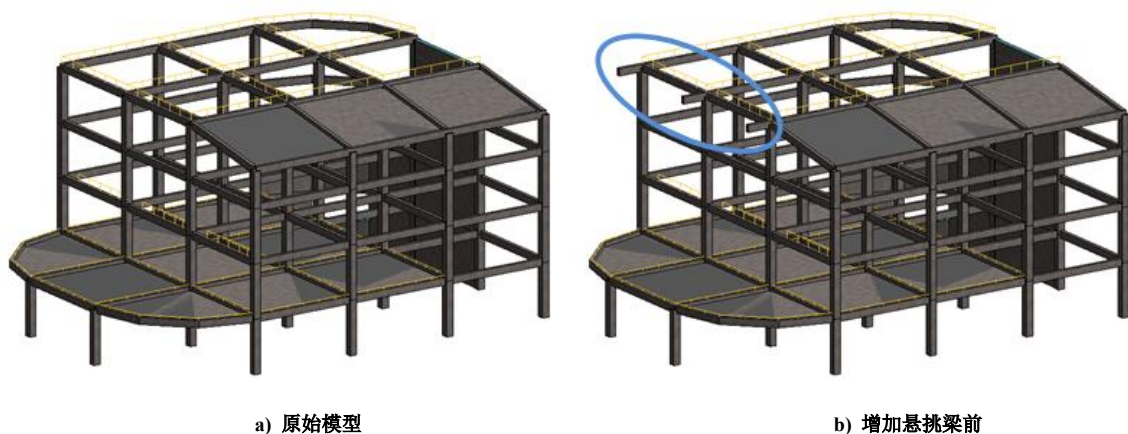


图 12 添加构件更新

2.2 Revit 模型转换为 SAP2000 模型

已建立的 Revit 模型在附加模块中使用导出生成新的 SAP2000 模型菜单，在导出对话框显示转换插件识别到的杆件类型和数量，如图 13-a 所示。所有构件可一次导出，也可按照类型分次导出，生成的文件格式是 exr 文件。在 Revit 中选中部分构件时，勾选仅 Revit 中选中的单元，对话框中显示的数据为软件选中的单元类型和数量，如图 13-b 所示。

在 SAP2000 软件中使用导入 exr 文件命令，选择 exr 文件，在对话框中显示 exr 文件中的构件类型和数量，截面库文件显示使用的型钢截面库文件，用以进行型钢截面的匹配，如图 14 所示，生成的模型如图 15 所示。

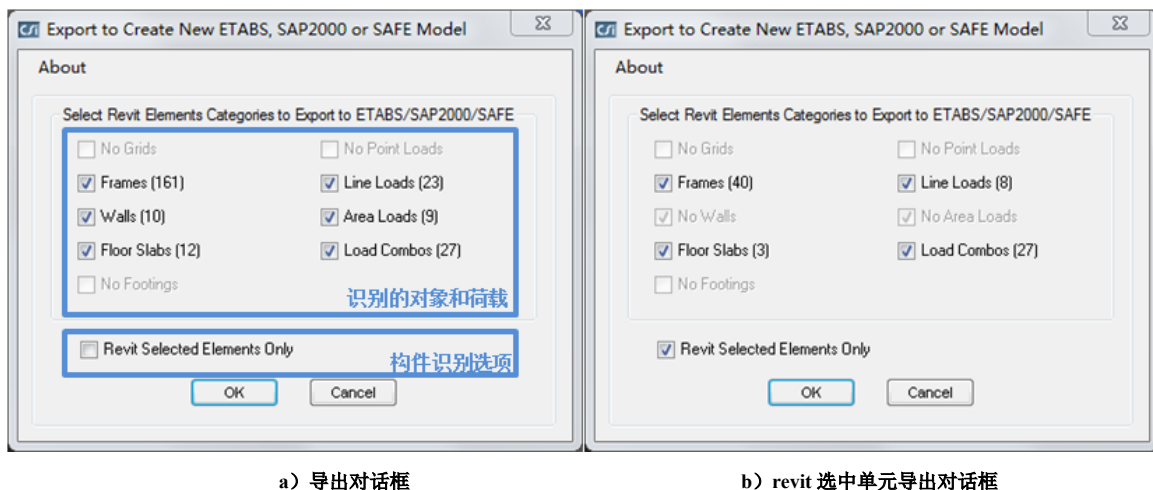


图 13 Revit 导出对话框

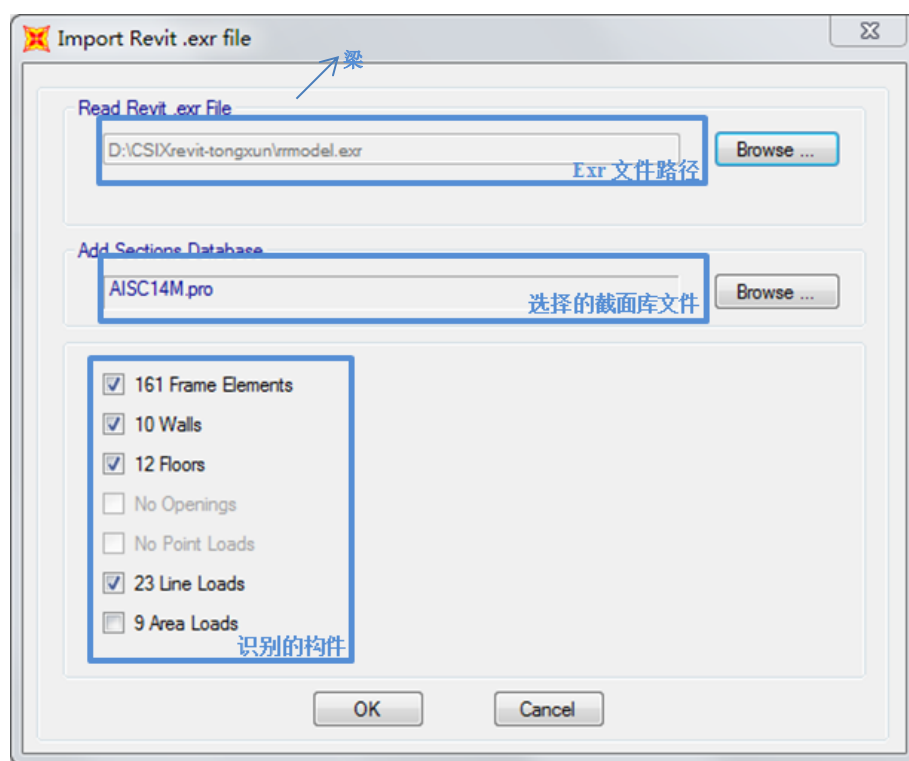
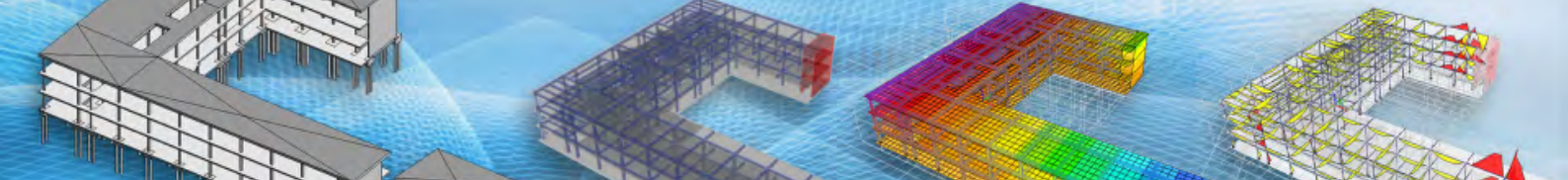


图 14 导入 exr 文件对话框

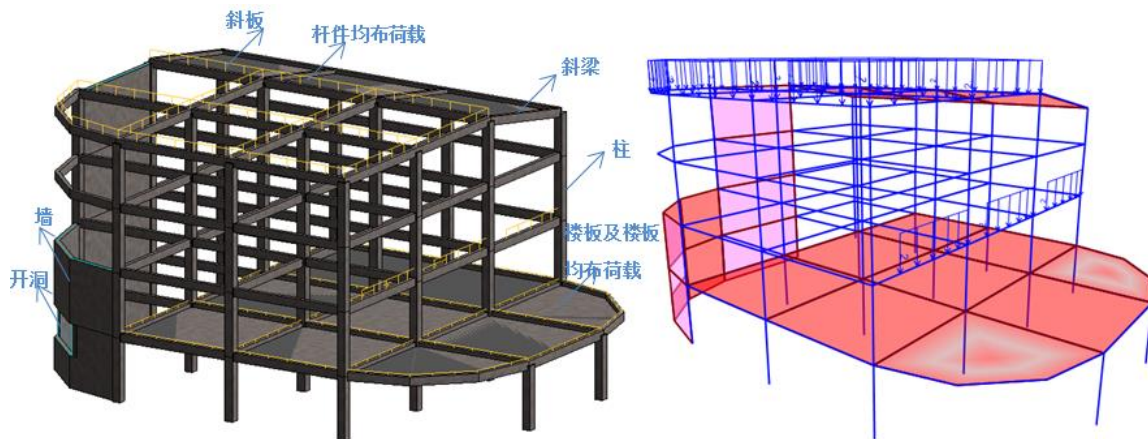


图 15 模型转换示例

3 转换信息详解

SAP2000 软件和 Revit 软件在材料定义、截面定义、构件类型、荷载等方面存在很大差异，在互相转换的过程中，对不同类型的数据处理方式不同。

3.1 材料

混凝土材料和型钢材料，在模型转换中自动识别，并建立对应的材料类型，如图 16 中的材料 C30、Q345，自动在 Revit 中建立对应材料，见图 17-a、17-d，其他类型材料根据转换过程不同做不同的处理。在 SAP2000 模型转 Revit 模型过程中，other 类型的材料转换为 Revit 其他类型的材料，如图 16 中的材料 MAT，在 Revit 中定义为其其他类型的同名材料，见图 17-b，非混凝土、型钢、other 类型的材料，在转换时按照匹配的族自动指定材料，如图 16 中的 coldformed 材料，在 SAP2000 中为冷弯材料，对应的 Revit 中，其材料类型不指定为 coldformed，而使用族的默认材料，如图 17-c 所示。

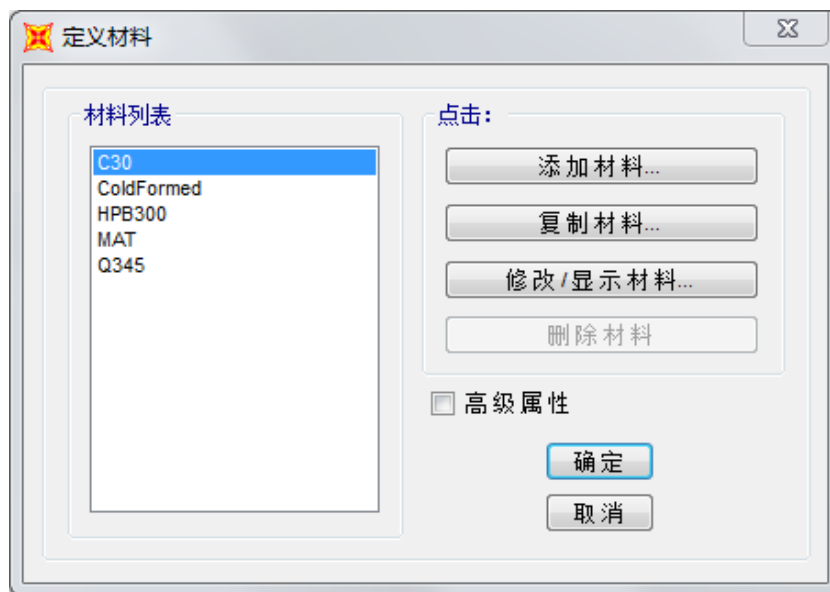
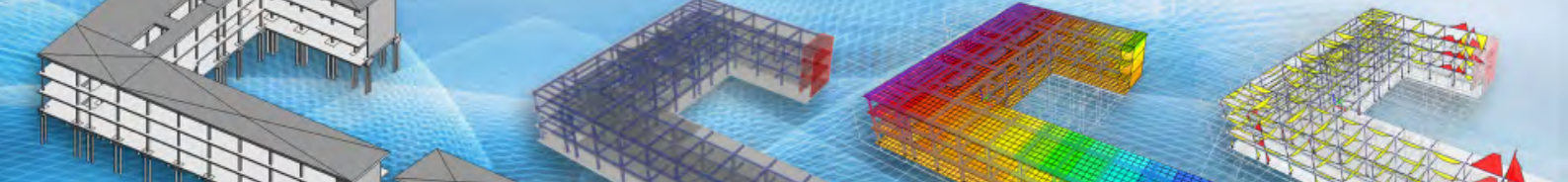


图 16 SAP2000 材料定义

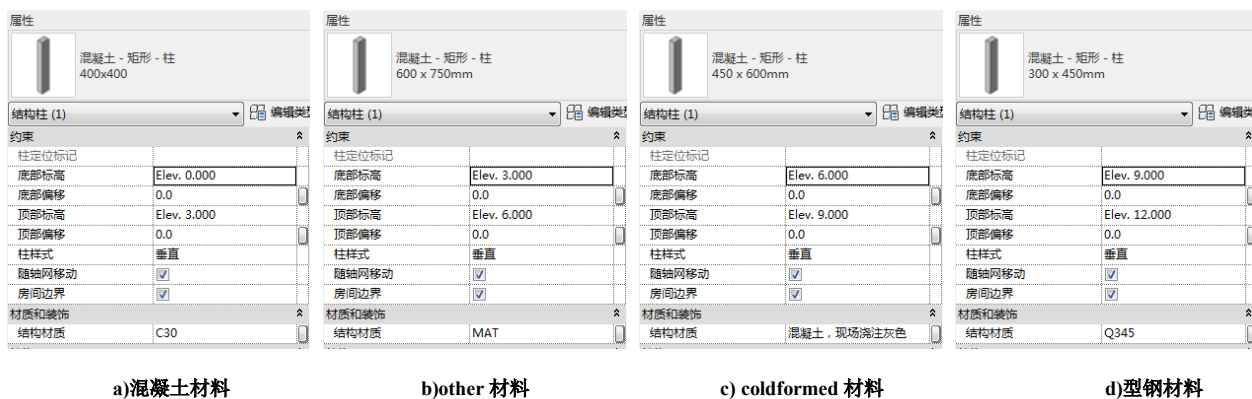
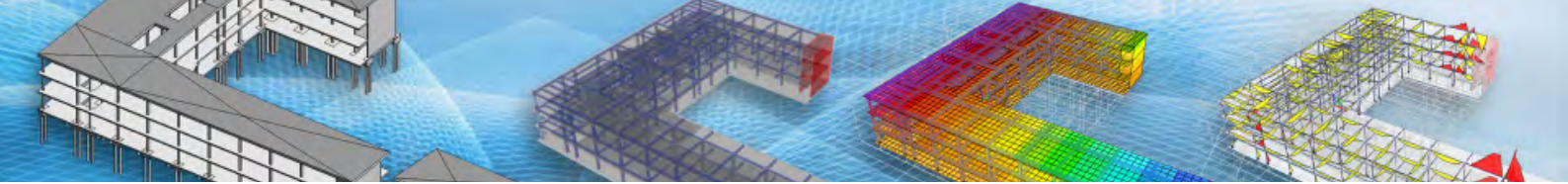


图 17 SAP2000 材料转为 Revit 材料

在 Revit 模型转 SAP2000 模型过程中，型钢材料、混凝土材料、钢筋材料，转为 SAP2000 中的同名材料，并按照类型进行定义，如图 18 中的图 a、b、d。其他类型的材料，如玻璃等，在 SAP2000 种建立同名的材料，材料类型为 other。如图 18 中的图 c，在 SAP2000 定义见图 19-c。



图 18 Revit 使用材料



a) SAP2000 材料定义



b) 混凝土材料

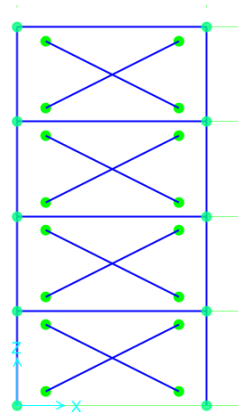


c) 玻璃材料

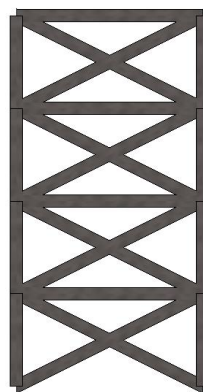
图 19 Revit 转为 SAP2000 材料

3.2 杆件

在 SAP2000 软件中，杆件的类型有框架、索、钢束三种类型，在 Revit 软件中，杆件按照类型分为梁、柱、支撑。SAP2000 模型转换为 Revit 模型时，框架单元根据位置判断类型，水平构件识别为梁，竖向构件识别为柱，其他斜向构件识别为支撑，见图 20。索单元根据其位置，将其转换为梁、柱、支撑，见图 21。杆件的插入点信息在 SAP2000 中包含基点设置和偏移距离，在转换中，基点设置信息可以导入，偏移信息不做处理。杆件的杆端释放信息转换在分析模型中查看，见图 23。钢束和截面为 NONE 或变截面杆件在转换中不做处理。



a) SAP2000 模型



b) Revit 模型图

20 杆件转换示意

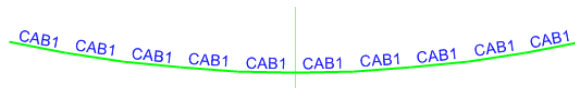
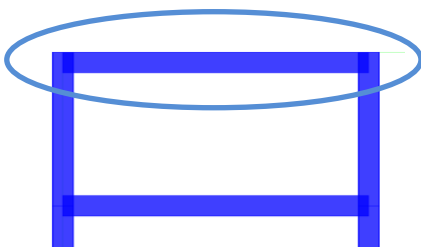


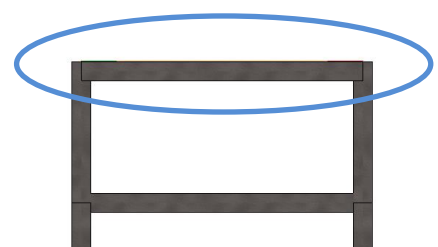
图 21 索转换示意



a) SAP2000 模型

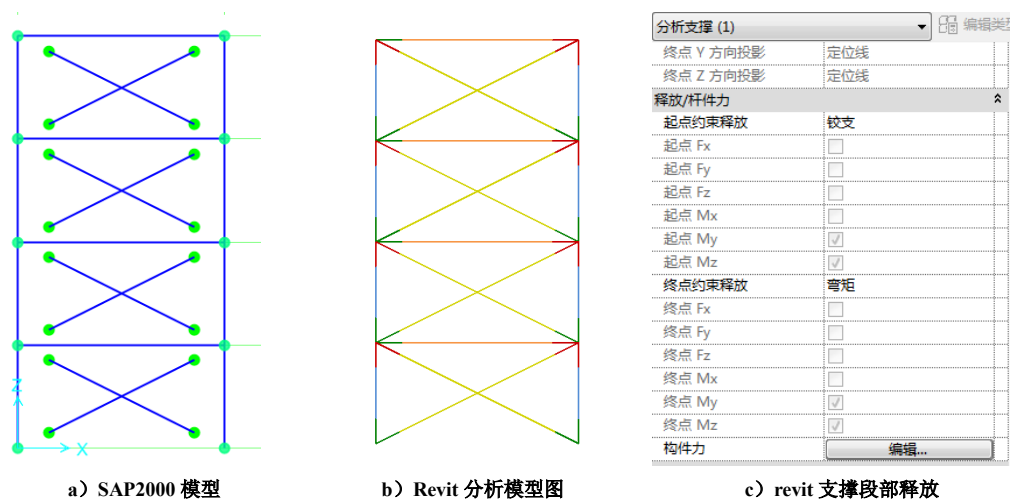
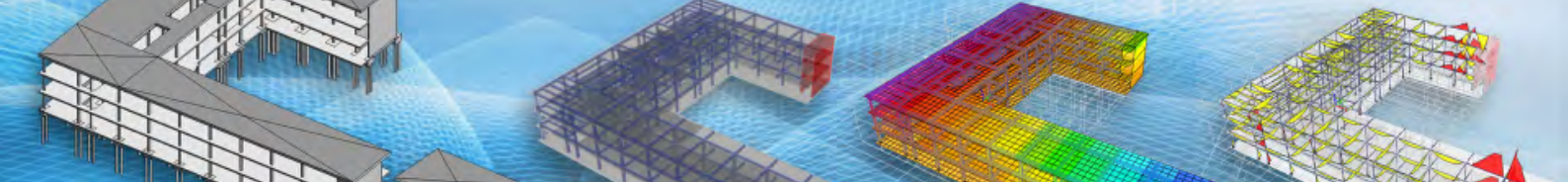


b) 插入点设置



c) revit 梁顶与柱齐平

22 插入点转换示意



23 杆端释放转换示意

Revit 模型转换为 SAP2000 模型时，梁、柱、支撑构件均转换为 SAP2000 杆单元。在转换中，柱构件导入柱构件的偏移信息，如图 24 中蓝色圆圈所示，梁构件，导入梁构件的偏移信息，如图 24 中的梁 3 所示，梁的插入点信息根据 Revit 中设置的几何图形位置，结合 Y 轴、Z 轴的设置，得到构件的插入点信息以及偏移的具体尺寸，如图 24 的中梁所示，具体数据表示见图 25。弧形构件在 SAP2000 中转换为曲线框架，见图 26。构件的端部释放信息根据构件设置转换为 SAP2000 的端部释放，见图 27。

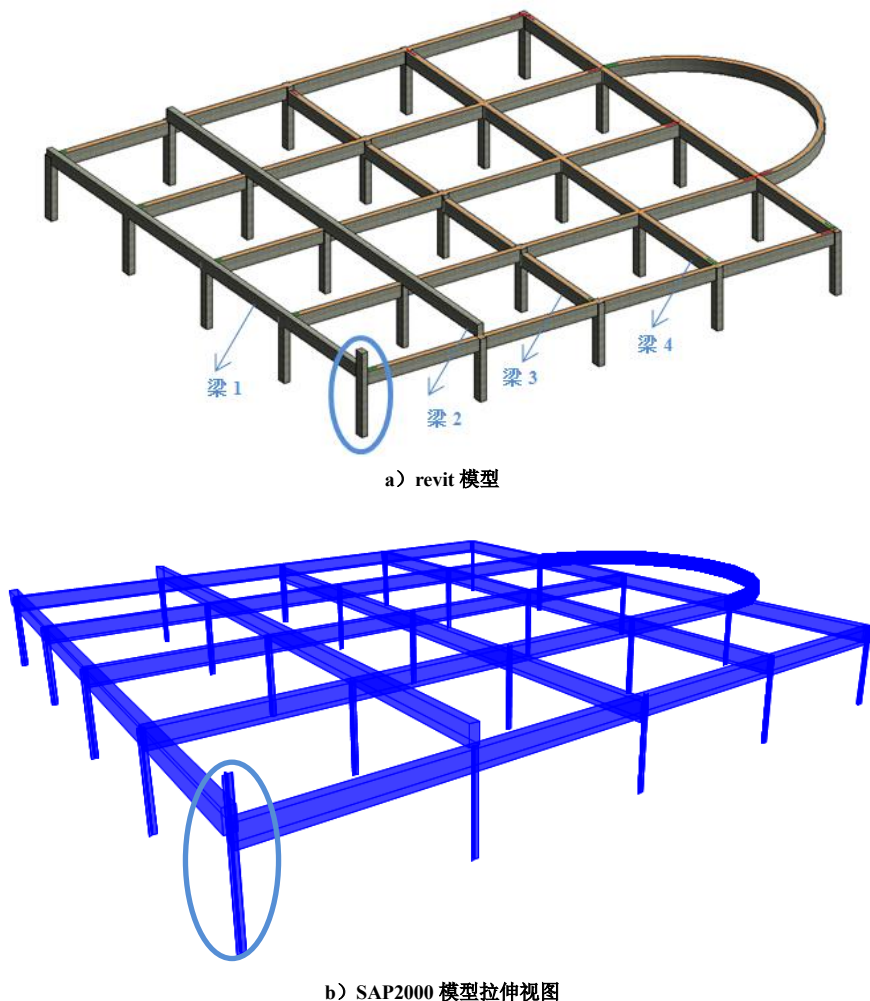
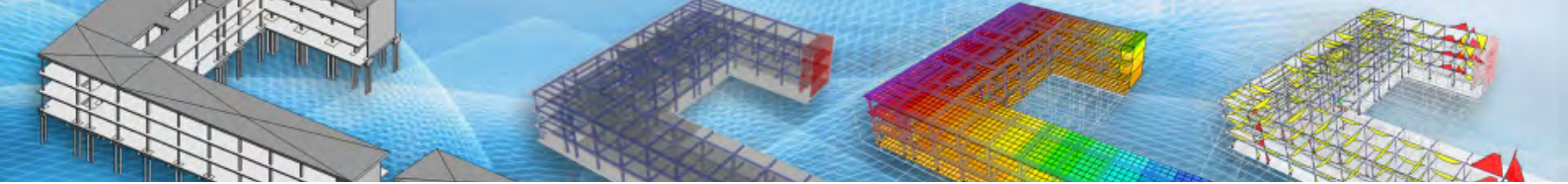


图 24 Revit 模型导入 SAP2000



结构框架 (大梁) (1) 编辑类型

约束

参照标高	标高 2
工作平面	标高: 标高 2
起点标高偏移	0.0
终点标高偏移	0.0
方向	标准
横截面旋转	0.00°

几何图形位置

YZ 轴对正	统一
Y 轴对正	原点
Y 轴偏移值	20.0
Z 轴对正	顶
Z 轴偏移值	-40.0

a) Revit 数据

对象模型 - 线信息

位置 属性 荷载 设计

标识符
标签 516267 设计类型 None

截面属性	300 x 600mm
属性修正	无
材料覆盖项	无
I 端释放	M2, M3
J 端释放	T, M2, M3
手刚性连接	无
局部轴	默认值
插入点	
基点	8 (顶中)
坐标系	Local
端节点偏移 2	-40.
端节点偏移 3	-20.
端节点偏移 2	-40.
端节点偏移 3	-20.
关于 2 轴镜像	No
关于 3 轴镜像	No
转换刚度	Yes
端部偏移	无
最大的侧结间距	500

双击白色背景的单元格可编辑相应选项

更新显示 修改显示 确定 取消

b) SAP2000 插入点数据

图 25 梁的偏移信息

Object Model - 线信息

位置 属性 荷载 设计

标识符
标签 516879 设计类型 None

长度	18772.136
线对象类型	曲线框架
起点 (I)	71
坐标系	GLOBAL
X	7023.88089785417
Y	1540.23191900568
Z	3000.
终点 (J)	91
坐标系	GLOBAL
X	7023.88089785415
Y	-10459.7680809943
Z	3000.

全部重置 显示布置... 更新显示 修改显示 确定 取消

双击白色背景的单元格可编辑相应选项

图 25 弧形构件处理

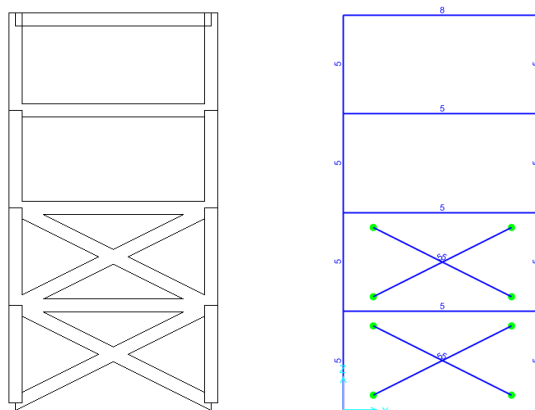
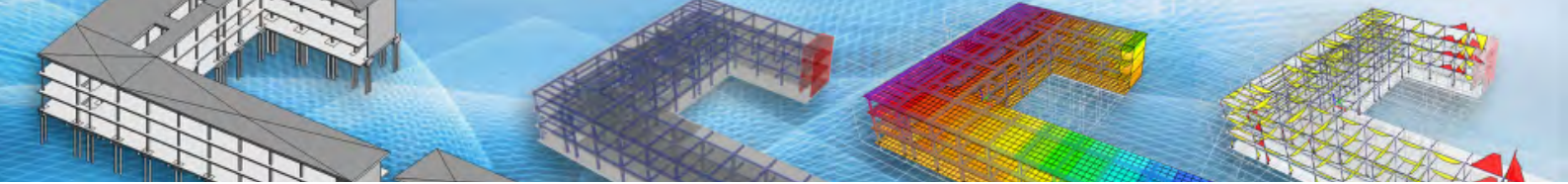


图 26 段部释放、插入点转换

3.3 框架截面

框架截面在 SAP2000 软件按照类型分别进行定义, 在 Revit 软件使用族定义。SAP2000 模型转换为 Revit 模型过程中, 转换时根据截面形状和杆件类型与 Revit 中对应的族类型进行匹配, 如 SAP2000 中的截面名称与 Revit 中的截面名称能完全匹



配，则转换插件自动匹配截面对应关系，对于不能根据名称和类型进行识别的截面会在转换窗口给出截面不对应的提示，手动进行截面的匹配操作。

混凝土截面在进行识别时是按照构件类型和截面类型进行匹配。如 SAP2000 软件中，定义了截面类型 400x300，即有水平构件也有竖向构件，在 CSI XRevit 软件中进行截面匹配时，对于竖向构件，匹配的是族名为混凝土-矩形-柱中的族类型 400x300，对于水平构件，匹配的是族名为混凝土-矩形梁族类型 400x300，如图 27 所示。型钢截面根据截面名称和类型进行匹配，如图 28 所示。

根据截面匹配原则，建议在建立 SAP2000 模型时，型钢截面采用型钢库截面的名称定义规则进行定义，Revit 进行模型导入前，在 Revit 中加载或者建立对应截面的族类型，在进行模型转换时可以减少截面匹配的工作，尤其是在一些大模型中，提前做好规划可以更加便捷的进行模型的转换。

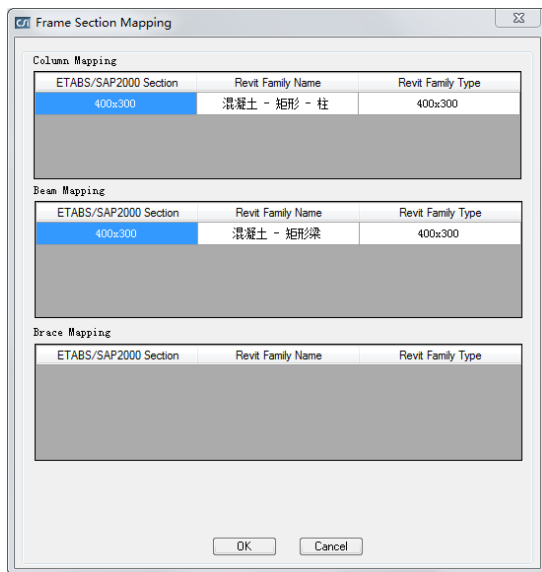


图 27 混凝土截面匹配图

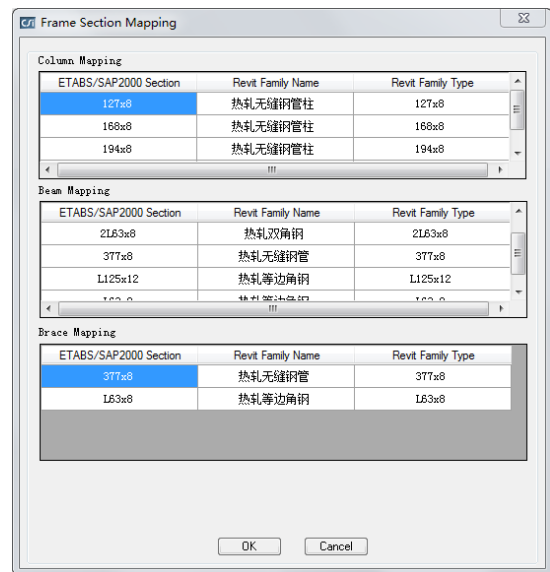
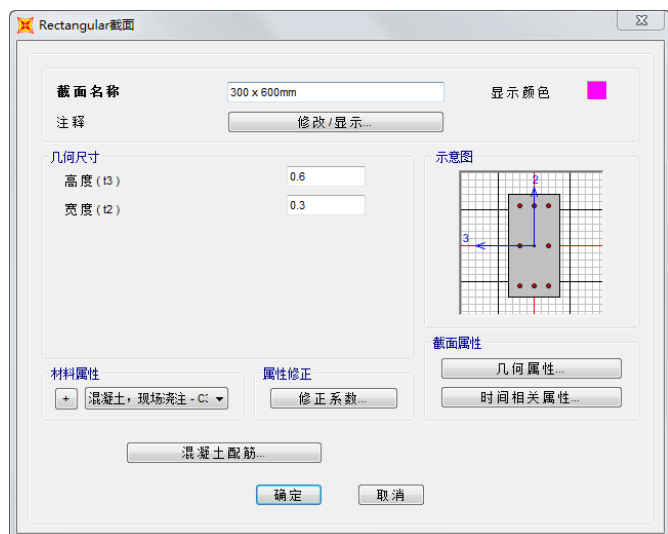


图 28 型钢截面匹配

Revit 模型转换为 SAP2000 模型过程中，截面转换对混凝土截面和型钢截面的处理方式不同。常规的混凝土截面根据族类型信息确定截面形状与尺寸，在 SAP2000 中直接定义截面，并指定到对应的杆件，如图 29 所示。型钢截面在进行导入时和 SAP2000 加载的 pro 文件进行截面匹配，如有未匹配的杆件截面，显示截面列表，手动进行匹配。默认的截面库文件为 AISC14M.pro，可根据需要在 SAP2000 的安装目录下选择需要的截面库文件。修改截面库文件后根据新文件的截面数据匹配型钢截面信息，见图 30。

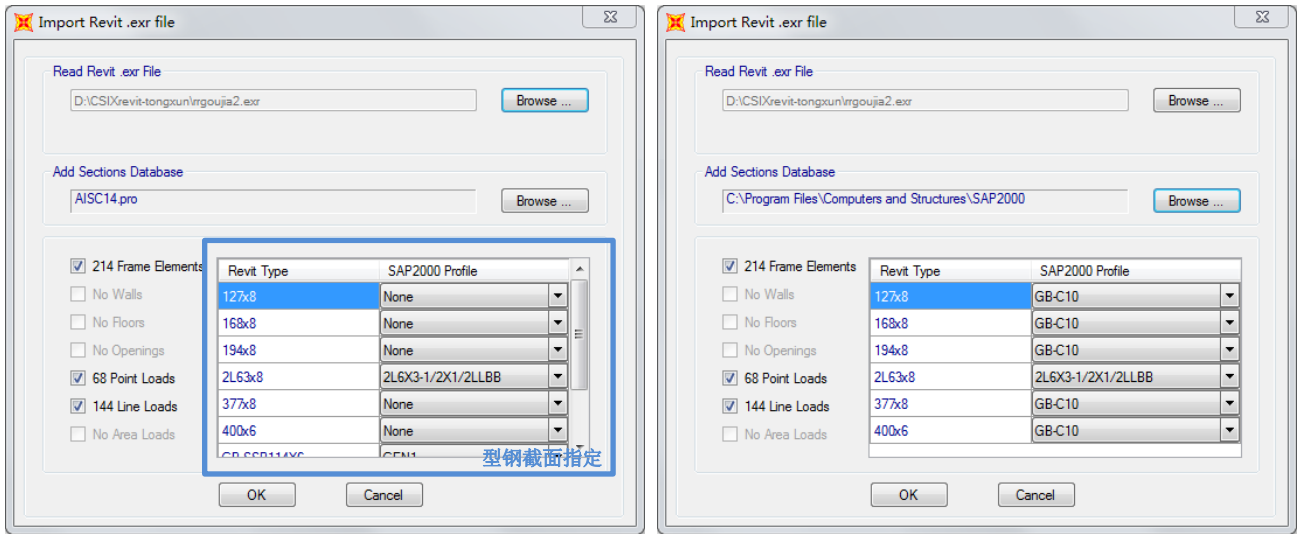
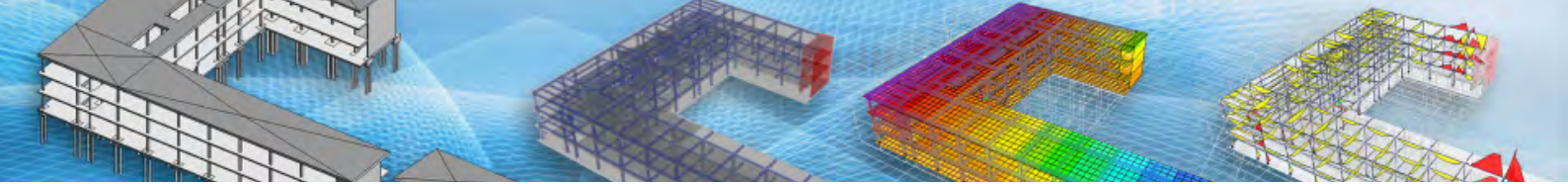


a)Revit 截面数据



b)SAP2000 截面定义

图 29 混凝土截面定义



a)匹配前

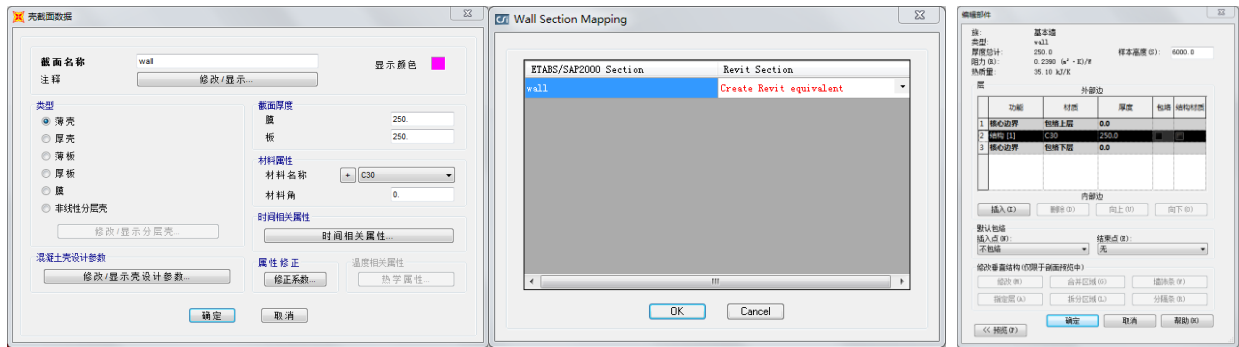
b)修改界面库

图 30 型钢截面列表

3.4 面

面在 SAP2000 软件中根据计算需要定义类型、材料、厚度等信息，在 Revit 软件中根据类别来进行分类，包括墙、楼板。在进行转换时，根据各软件的特点进行转换。

SAP2000 模型转换为 Revit 模型时，根据面的位置将竖向面识别为墙，其他方向识别为楼板，面的厚度是根据面厚度在 Revit 中建立对应的族类型，见图 31。虚面、曲面、分层壳类型的面单元不能导入。



a) SAP2000 壳定义

b) 转换说明

c) Revit 面厚度定义

图 31 面信息定义

Revit 模型转换转 SAP2000 模型，墙、楼板根据位置进行转换，截面根据厚度进行转换。墙、楼板为单层数据时，根据名称和厚度定义面截面，如图 33 所示，当墙、楼板为多层的复合数据时，层中有能识别的材料，取厚度最大的数据定义面截面，如图 34 所示，如材料不能识别，截面指定为 NONE。墙、楼板转换为 SAP2000 中的厚壳单元，在 SAP2000 中根据需要进行调整。模型中有洞口时，墙、楼板按位置进行转换，在开洞位置，将洞口转换为 NONE 单元，见图 35-a，弧形墙转换为多个壳单元拟合，见图 35-b。带有弧形边界的楼板不能导入。

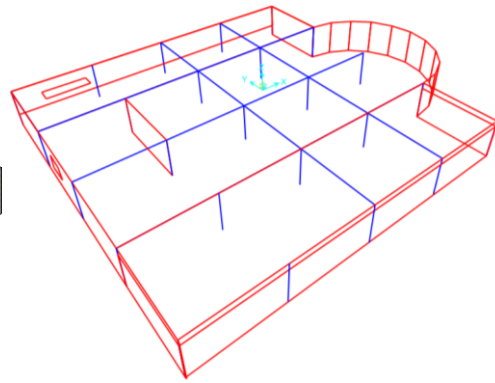
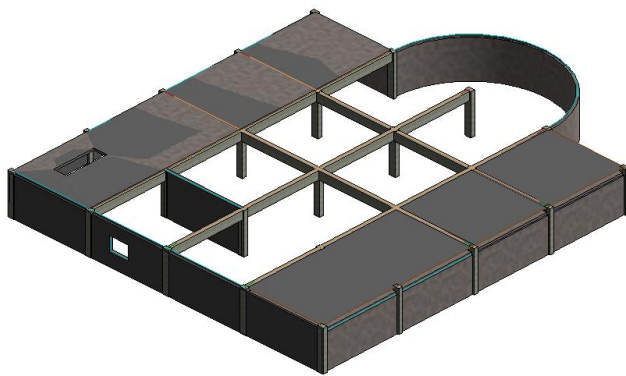
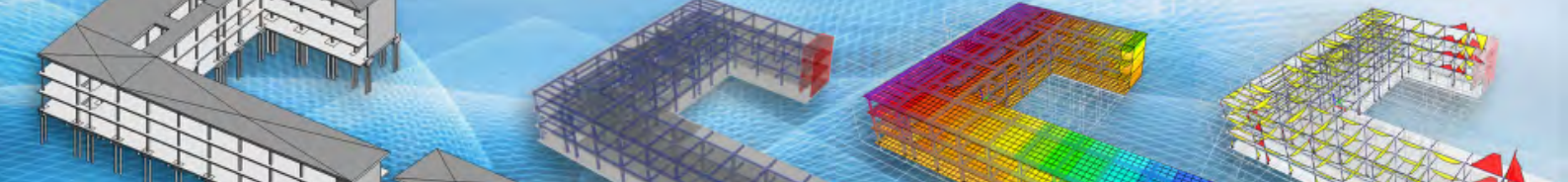


图 32 壳元转换



a) Revit 单层墙定义



b) 导入 SAP 定义单层墙定义

图 33 单层墙定义



a) Revit 复合墙定义



b) SAP 复合墙定义

图 34 多层墙定义

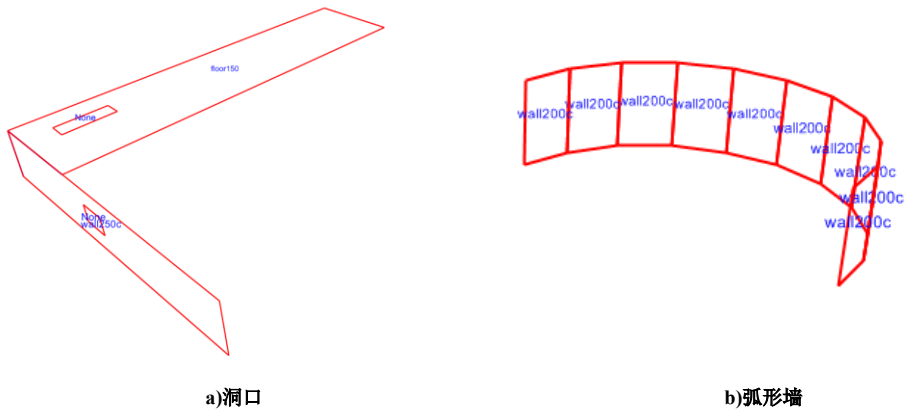
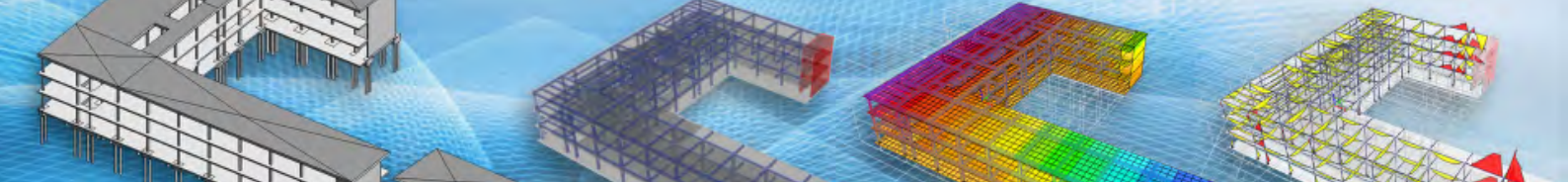


图 35 洞口、弧形墙处理

3.5 荷载定义

恒、活、风、地震、温度、雪荷载可以在 Revit 和 SAP2000 中互相转换，在 Revit 软件中，仅将风、地震荷载表示为相应类型的形式，无荷载的相关信息，因此，SAP2000 的风、地震荷载导入 Revit 后为按类别标识不带计算参数的荷载。Revit 的风、地震荷载导入 SAP2000 后按类别标识不带计算参数的荷载。其他类型的荷载，从 SAP2000 转换为 Revit 时，不转换，从 Revit 转为 SAP2000 时，转换为 other 类型荷载，如图 37 中的荷载 ACC1 为偶然荷载，转换到 SAP2000 中为 other 类型。

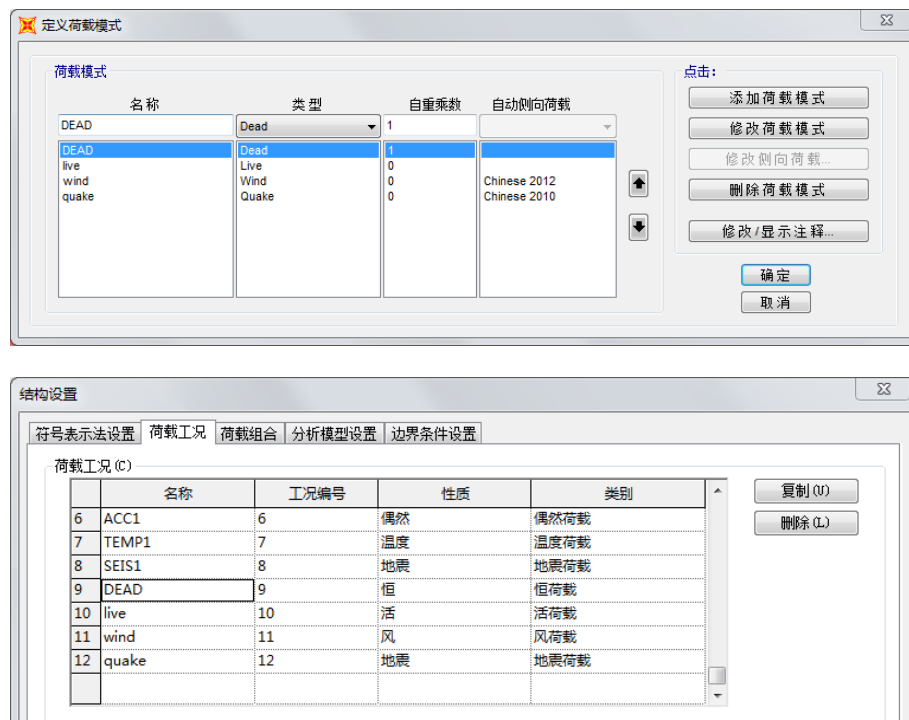


图 36 SAP2000 荷载到 Revit

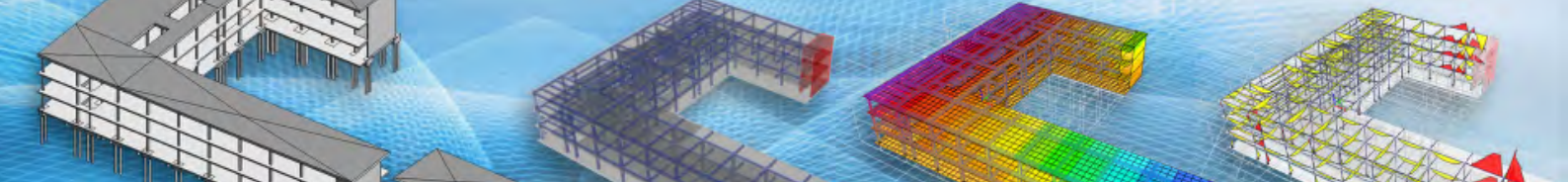


图 37 Revit 荷载到 Sap2000

3.6 荷载指定

根据构件的类型，构件上的荷载有节点荷载、杆件集中力、杆件均布力、面荷载四种类型。节点集中力荷载在相互转换中，节点位移荷载在 Revit 中不能定义，见图 38，因此转换中不转换节点位移荷载。杆件集中力、杆件均布荷载在两个软件中相互转换，如图 39、40 所示，在 Sap2000 中定义的梯形荷载，在转换时转换为几个均布荷载叠加处理，见图 41。面荷载为单向导入过程，仅可以从 SAP2000 转换到 Revit，转换的类型有均布面荷载、表面压力荷载，如图 39 所示。



图 38 Revit 中可定义的荷载形式

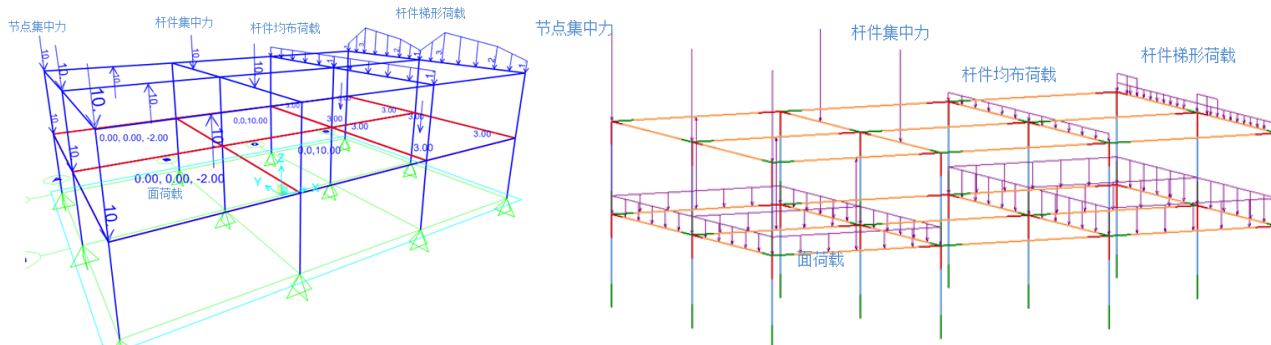


图 39 SAP 荷载转 Revit 荷载

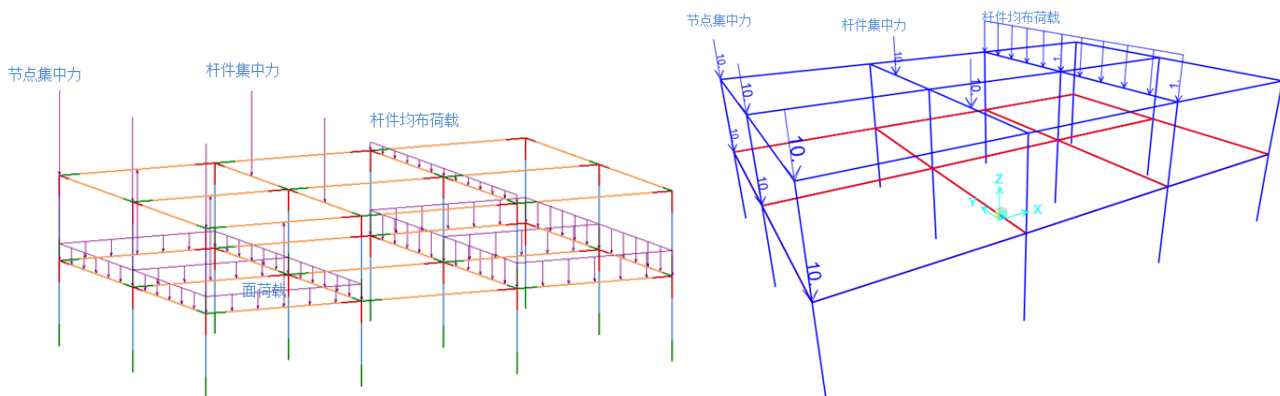
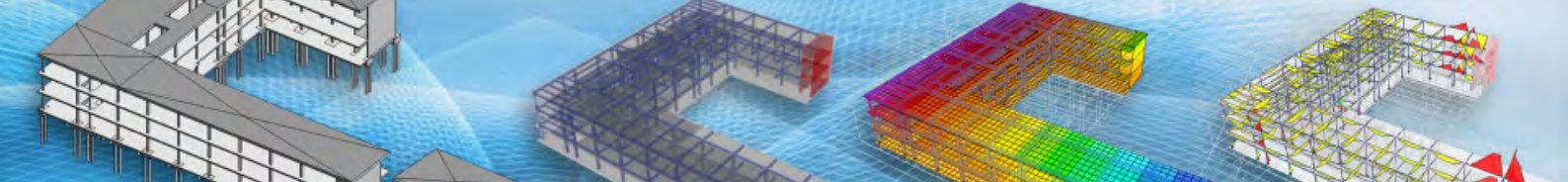


图 40 Revit 荷载转 SAP 荷载

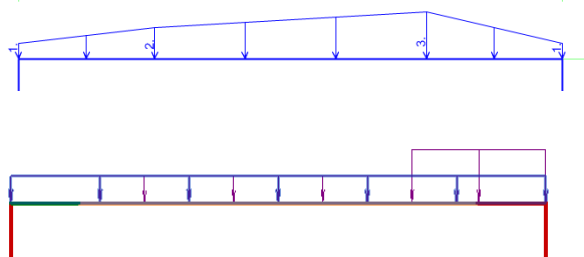


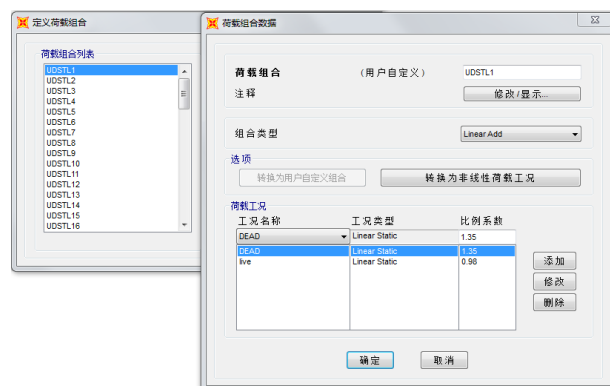
图 41 梯形荷载转换

3.7 荷载组合

荷载组合根据数据直接进行转换。



a) Revit 荷载组合定义



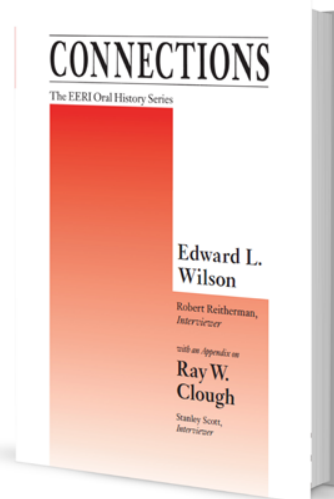
b) SAP2000 荷载组合定义

图 42 荷载组合信息

4 小结

以上从转换过程、转换信息等方面介绍 SAP2000 软件模型与 Revit 软件模型互相转换的过程，SAFE、ETABS 软件的转换过程与此类似，每个软件的特点不同，转换时在具体的细节方面会略有不同，可在 CSiXRevi 软件的帮助文件中找到更多信息。

【编者按】本期为 Edward L. Wilson 教授访谈回忆录（8）。这是附录部分，是 Wilson 的导师 Ray W. Clough 教授生前未完成的口述记录，Wilson 特别要求 EERI 将此部分纳入本书，以纪念这位开创有限元法和结构抗震的先驱。《Connections: The EERI 口述历史系列》是美国地震工程研究所（Earthquake Engineering Research Institute）出版的对地震工程界重要人物现场采访的口述历史系列丛书。Wilson 教授在结构计算分析领域取得了大量令人瞩目的成就与贡献，至今被结构工程界广泛采用，例如“非协调单元”、“Wilson-θ 法”、“CQC 法”、“FNA 法”以及对多自由度体系“等位移原理”的否定等等；Wilson 教授获得了无数奖项和荣誉，包括 1985 年当选为美国国家工程院院士；Wilson 教授是 SAP 和 ETABS 系列程序的原创开发者，现在依然担任 CSI 公司的高级技术顾问。本书通过访谈的形式回顾 Wilson 教授的成长经历及成就斐然的职业生涯。在本书的附录部分还公开了 Wilson 教授的导师，美国著名结构工程、地震工程学家 Ray W. Clough 的访谈录。在大师们平实、生动的口述中，我们仿佛穿越回上世纪初期，亲历行业先驱们的成长、分享他们的人生体验、目睹一个又一个极具变革意义的重要历史时刻，见证地震工程学、结构工程学的发展之路。希冀钟情于 CSI 结构软件的广大工程师朋友们既能从中获得结构工程专业知识，更能从大师们的学术生涯和人生抉择中汲取精神力量！



第三章 早期教育和华盛顿大学

“在整个高中阶段，我一直有这样的想法，想当一名护林人。”

小学和中学

Scott: 请谈一下您早年间在小学和中学的经历。

Clough: 我记得语法学校。我去西雅图的 Fairview 小学上学，学校从一年级到六年级，我从没有过真正的学习兴趣，只是每个孩子都要上学罢了；然后就进入了 John Marshall 初中，一所典型的三年制初中，我仍然没有学习的兴趣，也只是干那个年龄该干的事而已，我没有认为学习能把我送到什么特别的地方去，只是成长过程中的一部分。我初中毕业的时候还是没有培养起学习兴趣来。

然而，在高中，我开始意识到我应该取得好的分数，我上了一些标准的高中科学和数学先修课程，不是英文、历史这类课程，而是数学、化学和后续需要用到的科学课程。

Scott: 那时你已经有了一些学习科学的兴趣了？

Clough: 我意识到我不想跟随哥哥，他特别擅长语言、历史这些学科，但对数学和科学没有啥兴趣，然而我的兴趣却都在这些地方。我并不是一个数学天才，当然在高中我们只学高等代数，我上了物理和化学，我对化学没有特别的兴趣，但我通过了。我于 1938 年高中毕业，同年秋季进入了华盛顿大学。

华盛顿大学

Clough: 进入华盛顿大学之后，我开始对教育有了不同的态度。最初，我并不十分清楚自己想干什么，在整个高中阶段我都有当护林工的想法，在高中上了一些植物学的课，但并不喜欢，在整个高中依然保留着成为护林工的想法。

Scott: 我想你考虑林业部分原因是你喜欢户外活动？

Clough: 是的，但当我进入了华盛顿大学之后，我并不真的知道自己想做什么；尽管我起先的兴趣是林业学，雷鸟穿越的四人有一个比我大，先于我进入华盛顿大学修的是林业学，我们进行穿越时，他已是二大的学生了。我记得这次长途探险中，围坐在篝火旁，他问我：“你真的想读林业学？你真的想在一生中都坐在树林中的小屋子、大部分时间都是对动物说话？”他真正强调的是那是一件乏味的工作，他向我灌输这种观念，因为我会按他说的做。我已经上过植物学的课了，我意识到自己并不喜欢它，因此他是使我放弃林业的人。

进入华盛顿大学后，我必须有所选择，我的第一想法就是跟我父亲进入化学领域，因此我进入了化学系，只待了一个学期，非常不喜欢它，在我学术生涯唯一得过的“C”就是在在大一的化学课上。从这种糟糕的开始，我明白了化学不适合我，即使我父亲作为化学家做得很好，喜欢待在化学实验室里摆弄着那些瓶瓶罐罐。第一学期末，我就换了专业。

土木工程专业

Clough: 那时我开始考虑工程也许是我想做的工作，特别是土木工程。从那时起，我从未对工程有过任何的犹豫，特别是土木工程，部分原因是我认为我可以从事自己喜欢的户外工作。然而，在我的职业生涯中，我并没有做很多的土木工程师常常做的调查和其他的户外工作，尽管我也做过一些。

我已进入土木工程系，我很适应其中的数学和物理课程，那时华盛顿大学的工程学科课程还是很棒的，有给大一新生上的“通用工程概论”课程，即使是大一的学生也已经开始接触工程方面的内容。

在 Bonneville 能源管理局实习

Clough: 具备这个背景，大三结束时，我就参加了美国政府民用服务考试，申请了特别为学生设置的实习工程师职位，三年之后就可以获得任命。1941 年夏天，我读完大三，就到波特兰的 Bonneville 能源管理局进行实习，那里有许多不同类型的实习生。我记不得申请了，我想就这样发生了，但这对我的工程兴趣有重大影响。

这个为期三月的暑期实习是很严格的，我想我们所有参与的人都是念完了大三的，工资不多，但却是专业活动实践，那个时候我开始从事当我决定想成为土木工程师时设想去做的户外工作，那个暑假的大部分时间我都在户外进行测量工作，我乐享其中，觉得这是度过暑假的极好方式。

Scott: 因此工作很有趣？

Clough: 是的，作为 Bonneville 能源管理局的一员我很享受，Bonneville 那时是美国联邦项目中独特的、为特定区域提供电能，至今仍是。与 TVA（田纳西流域管理局）相比，并非完全一样。那时 Bonneville 相当新，正在进行大的工程项目，利用 Columbia 河上新建的大坝

来发电。Bonneville 大坝上游就是波特兰，我认为这是 Columbia 河上的第一座发电的大坝；从 Bonneville，输电线路将电能分发到各地，我就是在传输小组工作。

Scott: 地点在哪儿？

Clough: 开始在波特兰，在办公室里他们决定传输线路的走向。在办公室待了三周后，他们派我出去进行传输测量的外业工作。开始我去的是 Spokane，与那里的线路小组一起工作，在 Spokane 和 Ellenburg 东部山区都待过。

另外一部分时间，我在西雅图附近的一个小变电站工地工作，除了这段时间，我都在做传输线路测量工作。在西雅图周围工作期间，我主要的工作是变电站的施工，我只是做一些对钢筋混凝土施工的检查工作，总而言之，这是非常有价值的经历，在经过三年的学习之后，让我能接触到实际工程。

在 1941 年的夏天，我开始思考上研究生院的事，我希望 1942 年 6 月毕业并申请 MIT，能够在 1942 年秋天进入 MIT 的研究生院。MIT 接受了我，并给了我一小笔奖学金，但 1941 年底发生的一件非常重大的事件，彻底改变了我的计划。

第四章 战争来临

“我们没有被告知具体的目的地，但传言我们是准备进入日本的部队。”

Clough: 珍珠港事件之后，我到征兵局去询问我的情况，看是否能到 MIT 去。他们告诉我，只要我完成了本科学位，他们就不会威胁我被招募，但又说，如果我决定在 1942 年秋季去上研究生院，那我就会成为真正的目标。他们说服我延迟研究生学习而去波音飞机公司。

1942 年 6 月，我在西雅图的波音公司获得了一个职位，事实上做一些琐碎的工程工作，这份工作使我在战争期间确保了我延迟去上学，我在那里呆到 1942 年 9 月，但那时我开始认为这是一件没啥意义的工作，这样打发战争时间很是乏味。在 1942 年 9 月，我看到一些招聘气象官员的广告，我就与空军签了合约，成为气象局的一名士官学员。这也保证了我不被招募。

加入空军

Clough: 我加入空军航校成为气象局的士官学员，那时空军是陆军的一部分，还没有成为一支独立的军队，我这样选择是因为我可以通过体能测试；由于我夜视弱，我没能通过 Naval See Bee（海蜂工兵营）和其他一些常规军官项目的体能测试。大概是那个时候，我决定结婚，在实际履职之前的 1942 年 10 月，我结了婚。我是在华盛顿大学认识我妻子 Shirley Potter 的。

我和妻子乘火车到达 Pasadena 的加州理工集训地，大概是 11 月末我到那里报到的。我一领到了军服就参加了航校学员的基本培训，住在 Pasadena 的 Constance 酒店，距离加州理工一英里。作为航校学员，我住在 Constance 酒店，而我妻子在加州理工附近找了一个我们能负担得起的公寓；一周六天我住在酒店，周六的自由时间与妻子住在公寓里。她自己在加州理工找了一份工作，这样对我们的生活大有帮助，因为我每月的收入只有 \$60，这尚不够

支付公寓的租金。我们还买了一部二手车。

在加州理工获得气象学硕士

Clough: 在加州理工，我于 1943 年 9 月获得气象学的硕士学位；随后，他们让我作为讲师继续留在加州理工，直至 1944 年 6 月。那时，我基本上已成为一名活跃的气象预报员，但我从未对成为气象官员感到很满足，所以我就申请成为一名工程官员。最终，我转到飞行工程项目。飞行工程就像工程兵团，但隶属于空军。当我入驻军营的时候，Shirley 可以在我服役期间在基地外面生活。



Ray as a lieutenant in World War II in his office in Pasadena, California in 1944.

前往太平洋战场

Clough: 在战争的后期我到了海外，当机场建设的官员。在 1945 年 7 月末，我们登上运兵船从夏威夷加入到太平洋战场；我们离开夏威夷没多久，1945 年 8 月的第一周就在广岛投下了核弹，这是对船上的所有人来说都是特大新闻。我们没有被告知具体的目的地，但谣传说我们是准备进入日本的部队。显然，建设机场是其中的主要部分。

因此核弹在我听起来是一个好消息，我们仍然朝着日本的方向进发，直到在长崎投下了核弹，所有都停止了。整个运兵船都去到了 Ulithi Atoll，那是一个典型太平洋环礁，是理想的港口，环礁有开口，可以停靠大型船只。我们在那里可以得到很好的保护，还有潜艇护卫。我们就在 Ulithi Atoll 干坐了二周。

Scott: 把你们停在那里显然是因为战争和军队的情况急速在转变。

Clough: 是的，长崎之后，日本签署了投降协议，整个事情都结束了。

我们前往冲绳，达到时间是 9 月 2 日，大约正是在东京签署和平协议的日子。我们在冲绳的登陆是直截了当的，需要将所有装备都卸船，所有人都乘登陆艇登陆，这是登陆的唯一设施。整个过程就是常规活动，因为没有人阻止我们上岸。登陆后我们就直接在那一区域建好了我们自己的营地。从 1945 年 9 月到 1946 年 5 月，我们都驻扎在那里。

Scott: 这时你接到去中国的命令？

Clough: 是的，我突然接到在日本的麦克阿瑟将军办公室的命令，命令我向在中国的 Ralph Clough 先生报到。我被指派去向我哥哥报到，因为他被调去协助乔治马歇尔将军把在美国武器重新清点回来；他说他很高兴做这事，但他需要工程协助以全面评估需要什么，想法是把过剩的装备分给我们在中国的盟友。无论如何，Ralph 这个主意不错，因为我在冲绳无所事事，我就可以在中国各地走动，帮助他的新工作。这个派遣对我格外不错。

我们哥俩一见面，就开始忙活起来。我们首先调查了我们所在的上海的设施情况，然后去到广州检查那里的设施，再去了香港。大量的设施需要检查，我自得其乐，但我知道那时我已经积攒了足够的积分再次回家，我还没有从中国回过家。大约三周后，我告诉我哥：“谢谢，但（积分）已经足够了。”我重新归队回到原单位，以获得回家的批准。能在 1946 年就访问过中国是一件很有趣的事，比尼克松的“乒乓外交”早了许久。

Scott: 你在那里的三年后，1949 年毛的共产党最终接管了中国。

Clough: 是的，我哥完成马歇尔将军的任务后，被派到北京语言学校，还把自己的妻子接到了北京。他花了两年时间进行高强度的语言学习，为美国国务院工作。最困难的就是，他学过广东话，但在北京的时候，他真的把普通话练得很好。两年后，中国共产党开始围城，把所有非共党人士赶去上海，最终去了香港。

因此派到我哥哥那里三周后，我又回到了冲绳。大概是 1946 年 5 月底或 6 月初，我就结束了服役。

第五章 在 MIT 念研

“在航空工程系，我上了 *Bisplinghoff* 教授的飞行器结构动力学课，这也许是大学训练中对我最有影响的一门课。正是它引导我进入到了工程动力学领域。”

MIT 科学博士（1946-1949）

Clough: 1946 年 6 月初，我脱下军装，排队申请 MIT，令他们想起我早在 1941 年就已经获准进入研究生院。我不需要奖学金，因为我可以从 GI Bill（退伍军人法案）中得到资助。Shirley 和我于 1946 年秋季到了 MIT，我是 1949 年 6 月毕业的。在 MIT，我是正规地在土木工程系获得了结构工程的硕士学位。

而且，我还在 MIT 有以前没有过的机会。在航空工程系，我上了 *Bisplinghoff* 教授的飞行器结构动力学课，这也许是大学训练中对我最有影响的一门课。正是它引导我进入到了工程动力学领域。我很享受这门课，教会了我许多东西。我还上了 *Hartog* 教授的机械振动课，他在此领域大名鼎鼎。

博士论文是关于拱的屈曲研究

Clough: 我的博士学位是关于拱的屈曲研究，采用分析与实验两种方法相结合。当我快要获得博士学位的时候，我就开始向各种地方申请工作，大概写了六份申请，获得了二个相当感兴趣的工作机会，一个来自加州理工，另一个来自伯克利。我在加州理工待过，对 Pasadena 地区相当熟悉，在那里教气象学的时候，我还上了一门没有学分的结构工程课程，我也认识土木系里的好些教师。我到 MIT 我的老板 *Charles Norris* 那里说：“我得到了两份感兴趣的工作机会，都是从助理教授开始，薪水也基本一样。你认为我应该接受哪个？”他毫不犹豫地说：“去加大的伯克利分校，别去私立大学。”对于他来说，国家对教育的资助情况是决定性因素，他就在私立的 MIT，他在这里的全部时间都是处于经费短缺的痛苦中。我想如果他对公立大学和伯克利有热情的话，我就该遵循他的建议。我从未对此决定而后悔过。

我给伯克利回了信，接受了他们的工作，并告知了更多有关我的背景。当他们发现我上过结构动力学，他们说：“他将会成为我们在地震工程领域的专家。”我一亮相，他们就告诉我该去做的事。

SAP2000® v21

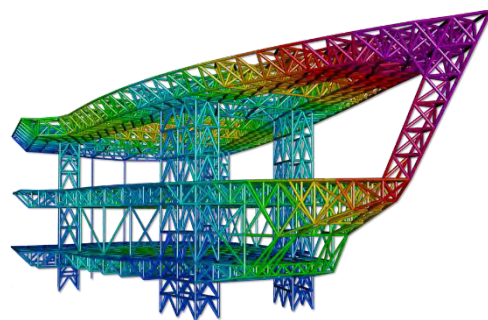
Integrated Solution for
Structural Analysis and Design

Powered by

SAPFIRE®

SAP2000 v21.0.2

- 默认的 DirectX 图形模式
- 新增基于俄罗斯规范 SP 20.13330.2011 的自动风荷载
- 基于反应谱曲线自动生成与之匹配的时程函数
- 基于俄罗斯规范 SP 63.13320.2012 的混凝土框架设计新增混凝土梁的裂缝宽度分析
- 基于韩国规范 KBC 2016 的钢框架设计新增抗震设计要求
- 支持导出可用于 3D 打印的 STL 文件



[点解了解更多功能特性](#)

CSiBRIDGE® v21

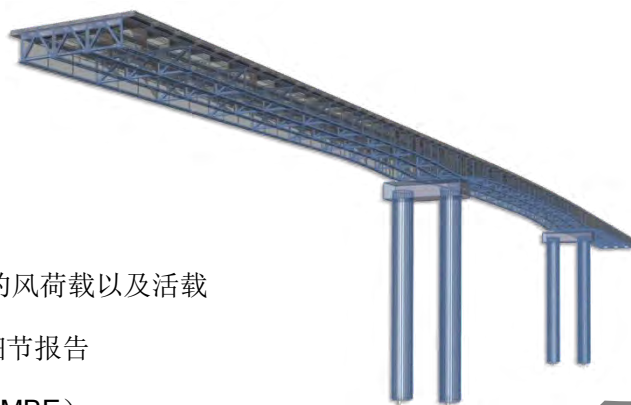
Integrated 3-D Bridge Analysis, Design and Rating

Powered by

SAPFIRE®

CSiBridge v21.0.2

- 新增建立钢横撑的模型
- 新增建立预制 I 型断面梁的钢横隔板
- 新增指定加腋部分的荷载
- 新增自动添加桥梁上部结构和下部结构的风荷载以及活载
- 增加了 AASHTO 规范 U 型钢梁评估的细节报告
- 新添加第三版 ASSHTO 桥梁评估手册 (MBE)



[点解了解更多功能特性](#)

50

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

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