

Perform[®] 3D v8

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF 3D STRUCTURES

- SAP2000 中收缩徐变的计算
- SAP2000 钢结构防火设计插件功能介绍
- PMM 法与规范算法计算单片墙肢承载力对比分析
- 地质环境及岩土工程分析软件包 PLAXIS LE 功能介绍
- 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

目 录

Content

— 专题文章 —



SAP2000 中收缩徐变的计算

1

SAP2000 钢结构防火设计插件功能介绍

7



PMM 法与规范算法
计算单片墙肢承载力对比分析

11



地质环境及岩土工程
分析软件包 PLAXIS LE 功能介绍

16

PLAXIS LE 与 PLAXIS 在
边坡工程中的协同应用

21

— 工程应用常见问题案例解析 —

异形面单元导致的异常

26

反应谱工况的结果查看

28

多塔结构结果输出异常

30

嵌套组合的误用

32

精度丢失产生的原因

35

复杂基坑模型的网格划分

37

某基坑模型荷载进程失败

40

真空预压模型分析结果异常问题

43

隧道分析中的土体倒塌问题

45

新版发布

48

活动报道

51

征稿启事

55



SAP2000 中收缩徐变的计算

筑信达 吕良

收缩徐变是混凝土材料本身所固有的特性，混凝土的收缩主要指由于混凝土的干燥而导致体积缩小的现象，而徐变是指在混凝土中应力保持不变的情况下混凝土的应变随时间增长的现象。收缩徐变会导致混凝土结构的内力和变形随时间不断变化，对于预应力混凝土结构还会造成预应力的损失及构件的开裂。对于大体积及大跨度的混凝土结构，其影响尤为显著，在分析设计时不可忽略。

SAP2000 为土木行业的通用有限元软件，在进行结构分析及设计时可依据不同国家及地区的规范来考虑混凝土的收缩徐变效应。本文将简要介绍在 SAP2000 中如何考虑混凝土的收缩徐变效应，并通过悬臂梁案例简要的说明了收缩徐变的计算过程。

1 混凝土的时间相关属性

要正确地分析收缩徐变对混凝土结构的影响，首先必须选择能够真实反映材料收缩徐变的数学模型。不同的规范会有不同的要求，但是对于混凝土材料，一般需要考虑的时间相关属性包括：混凝土强度和刚度随时间的变化、混凝土的徐变及混凝土的收缩。对应的在 SAP2000 中在定义混凝土的时间相关属性时，在【时间相关类型】选项中选择相应的规范后，需要定义这三个参数，如图 1 所示。这三个选项是可独立勾选，分别的对应了是否考虑对应的时间相关属性。



图 1 定义材料的时间相关属性

- 1) 【抗压强度和抗压刚度】选项表示是否考虑混凝土的刚度(Stiffness)变化，用于描述混凝土弹性模量随时间的变化。在 t 时刻混凝土的弹性模量 $E_{cm}(t)$ 与该材料规范弹性模量 E 之间的关系是：

$$E_{cm}(t) = \beta_E(t)E \quad (1-1)$$

其中： $\beta_E(t)$ 表示龄期为 t (天) 时混凝土的弹性模量修正系数。该修正系数与龄期 t 相关，一般来说混凝土龄期小于 28 天时，该系数的是小于 1 的，龄期大于 28 天时，该系数大于 1。龄期 t 越大系数 $\beta_E(t)$ 越大，对应的混凝土的弹性模量就越大。

- 2) 【徐变】选项表示是否考虑混凝土的徐变效应，程序中是通过徐变系数 φ_c (Creep Coefficient) 考虑的。徐变系数表示的是同一个荷载产生的徐变应变与弹性应变的比值。在 t_0 时刻施加的荷载 σ_c 后，在 t 时刻产生的徐变变形 $\varepsilon_{cc}(t, t_0)$ 可采用徐变系数 $\varphi_c(t, t_0)$ 表示，如下公式所示：

$$\varepsilon_{cc}(t, t_0) = \varphi_c(t, t_0) \left(\frac{\sigma_c}{E_{cm}(t_0)} \right) \quad (1-2)$$

其中： $E_{cm}(t_0)$ 表示荷载施加时混凝土的刚度，不同的规范对该刚度值有不同的要求，具体可查看相应的规范。需要注意的是为了正确计算徐变，必须要使用应力历程和随时间变化的徐变系数。对于每一个徐变变形，无论该变





形是由施加的荷载引起的，或是在超静定结构中由荷载重分布导致的，徐变变形都会随着龄期的增加而增加。

- 3) 【收缩】选项表示是否考虑混凝土的收缩效应，程序中是通过收缩应变（Shrinkage Strain）来计算的。收缩与构件内部的应力分布无关，仅与时间相关。

2 影响收缩徐变的计算因素

2.1 龄期

计算混凝土的时间效应时需要考虑混凝土不同的龄期。徐变与施加的荷载有关，因此需要考虑的龄期包括：加载开始考虑徐变时混凝土的龄期 t_0 ，计算龄期 t 。收缩效应与外荷载无关，计算时需要考虑的龄期包括：产生收缩时混凝土的龄期 t_{s0} 、开始考虑收缩时混凝土龄期 t_s 、计算龄期 t 。

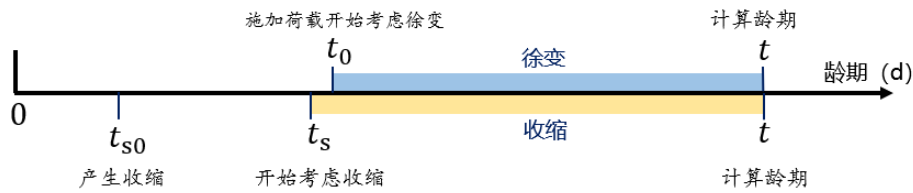


图 2 不同时刻的龄期

混凝土收缩开始的龄期 t_{s0} 与混凝土的类型相关，一般为养护期结束时混凝土的龄期，依据规范《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG D62-2004）设计时可取 3~7 天。该参数在材料的时间属性中定义，而其他的时间参数均由施工阶段中各个阶段的操作确定。关于混凝土龄期的计算可以查看知识库文章“[施工阶段中龄期的计算](#)”。

2.2 名义尺寸

名义尺寸的大小影响水渗透截面的速率，从而影响混凝土的收缩和徐变。名义尺寸由字母 h 表示，可以由程序自动计算（默认）或由用户直接指定。保持默认选项时，程序将按公式（2-1）自动计算：

$$h = SF \cdot 2 \left(\frac{A}{P} \right) \quad (2-1)$$

其中： h 表示名义尺寸， SF 为名义尺寸系数，程序默认为 1； A 为截面面积； P 表示截面的周长。

程序中名义尺寸的计算方法与规范 CEB-FIP 90、JTG D62-2004、ACI 209R-92 等规范中名义尺寸的计算方法是一致的，因此在定义收缩徐变时一般不需要用户重新手动指定构件截面的名义尺寸。

2.3 混凝土的配筋

混凝土的配筋率会影响结构的收缩和徐变。在 SAP2000 中程序通过钢筋修正系数 $R_{cf}(t_{i-1}, t_i)$ 来考虑截面的配筋对收缩徐变的影响，其修正公式如下：

$$\varepsilon_{cc}^{inc}(t_{i-1}, t_i) = R_{cf}(t_{i-1}, t_i) \cdot [\varepsilon_{cc}(t_i) - \varepsilon_{cc}(t_{i-1})] \quad (2-2)$$

$$\varepsilon_{cs}^{inc}(t_{i-1}, t_i) = R_{cf}(t_{i-1}, t_i) \cdot [\varepsilon_{cs}(t_i) - \varepsilon_{cs}(t_{i-1})] \quad (2-3)$$

其中： $\varepsilon_{cc}(t_i)$ 和 $\varepsilon_{cc}(t_{i-1})$ 分别是 t_i 和 t_{i-1} 时刻总的徐变应变； $\varepsilon_{cs}(t_i)$ 和 $\varepsilon_{cs}(t_{i-1})$ 分别是 t_i 和 t_{i-1} 时刻总的收缩应变。 $R_{cf}(t_{i-1}, t_i)$ 是从 t_{i-1} 到 t_i 时刻内的钢筋混凝土的应变修正系数。该修正系数与截面的配筋率、钢筋与混凝土的刚度等参数相关，其具体算法可参考程序自带的参考手册（c:\Program Files\Computers and Structures\SAP2000 21\Manuals\Technical Notes），这里不做详细介绍。

3 规范计算方法

混凝土的收缩徐变模式和计算方法很多，SAP2000 内置了多个国家和地区常用的规范计算方法，包括：CEB-FIP 模式，ACI-209 模式、GL2000 模式以及 JTG D62-2004 模式等，另外用户也可自定义收缩徐变的模式。虽然在计算收缩徐变时各个规范考虑的因素，计算要求及条件均不相同，但是一般都从混凝土强度和刚度的变化、徐变系数、收缩应变三个方面来描





述混凝土的时间相关属性。这里主要介绍 CEB-FIP 1990 和 JTG D62-2004 规范中的收缩徐变的计算方法。

3.1 CEB-FIP 90

欧洲混凝土协会(CEB)和国际预应力混凝土协会(FIP)在 1990 年推出了 CEB-FIP 90 模式,它详细规定混凝土强度及刚度随时间发展的变化函数、收缩应变的计算方法及徐变系数的计算方法。

(1) 混凝土强度及刚度

强度修正 $\beta_{cc}(t)$

$$f_{cm28} = f_c' + 8MPa \quad (3-1)$$

$$f_{cm}(t) = \beta_{cc}(t) f_{cm28} \quad (3-2)$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left\{s\left[1 - (28/t)^{0.5}\right]\right\} \quad (3-3)$$

刚度修正 $\beta_E(t)$

$$\beta_E(t) = \left[\beta_{cc}(t)^{0.5}\right] \quad (3-4)$$

f_{cm28} 表示混凝土第 28 天抗压强度值; f_c' 表示指定的混凝土抗压强度值; s 是为水泥类型系数参数; $\beta_E(t)$ 表示龄期为 t (天)时混凝土的弹性模量修正系数。

(2) 徐变系数 $\varphi(t, t_0)$ 计算:

$$\varphi(t, t_0) = \varphi_0 \cdot \beta_c(t - t_0) \quad (3-5)$$

其中:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH} \cdot \beta(f_{cm28}) \cdot \beta(t_0) \quad (3-6)$$

$$\varphi_{RH} = 1 + \frac{1 - RH / 100}{0.46(h/100)^{1/3}} \quad (3-7)$$

$$\beta(f_{cm28}) = \frac{5.3}{(0.1 \cdot f_{cm28})^{0.5}} \quad (3-8)$$

$$\beta(t_0) = \frac{1}{0.1 + (t_0)^{0.2}} \quad (3-9)$$

$$\beta_c(t - t_0) = \left[\frac{(t - t_0)}{\beta_H + (t - t_0)} \right]^{0.3} \quad (3-10)$$

$$\beta_H = 150 \left[1 + \left(1.2 \frac{RH}{100} \right)^{18} \right] h + 250 \leq 1500 \quad (3-11)$$

h 为名义尺寸,单位为 mm; RH 为相对湿度(%); f_{cm28} 表示混凝土第 28 天平均抗压强度 (MPa)。

(3) 收缩应变 $\varepsilon_{cs}(t, t_s)$ 计算

$$\varepsilon_{cs}(t, t_s) = \varepsilon_{sc0} \cdot \beta_s(t - t_s) \quad (3-12)$$

其中:

$$\varepsilon_{sc0} = \varepsilon_s(f_{cm}) \cdot \beta_{RH} \quad (3-13)$$



$$\varepsilon_s(f_{cm}) = [160 + 10\beta_{sc}(9 - 0.1 \cdot f_{cm28})] \cdot 10^{-6} \quad (3-14)$$

$$\beta_{RH} = \begin{cases} -1.55[1 - (RH/100)^3] & 40\% \leq RH \leq 99\% \\ -0.25 & RH \geq 99\% \end{cases} \quad (3-15)$$

$$\beta_s(t-t_s) = \left[\frac{(t-t_s)/t_1}{350(h/h_0)^2 + (t-t_s)/t_1} \right]^{0.5} \quad (3-16)$$

f_{cm28} 表示混凝土第28天平均抗压强度(MPa); β_{sc} 表示收缩系数; RH 为相对湿度(%); h 为构件的名义尺寸。

3.2 JTG D62-2004

我国公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范 JTG D62-2004 和 JTG 3362-2018 均采用了 CEB-FIP 90 模式, 但是需要注意的是 JTG D62-2004 规范和 JTG 3362-2018 规范仅给出了徐变系数和收缩应变的计算方法, 并没有给出混凝土强度刚度与龄期之间的关系。如果在 SAP2000 中如果选择“JTG D62-2004”规范计算混凝土的时间效应, 并勾选了【混凝土强度及刚度】选项, 此时程序将依据规范 CEB-FIP 90 计算混凝土强度刚度随时间的变化。

由于公式(3-1)中采用的是欧洲标准 BS EN 1992-1-1 中圆柱体 ($\Phi 150\text{mm} \times 300\text{mm}$) 混凝土试件的抗压强度 $f_{ck\text{cyl}}$ 来表示混凝土强度等级, 而国标采用边长为 150mm 的立方体混凝土标准试件的抗压强度 $f_{cu,k}$ 来表示混凝土的强度等级, 因此在公路 04 规范和 18 规范中混凝土在 28d 龄期时的平均立方体抗压强度应按下式计算:

$$f_{cm28} = 0.8f_{cu,k} + 8\text{MPa} \quad (3-17)$$

另外公路 04 规范中给出的公式只适用于强度等级 C20~C50 混凝土。如用高强混凝土, 应乘以修正系数 $\sqrt{\frac{32.4}{f_{ck}}}$ 。其中 32.4 为 C50 混凝土轴心抗压强度标准值, f_{ck} 为 C50 以上混凝土轴心抗压强度标准值。

3.3 自定义模式

对于一些特殊结构, 用户也可以自定义混凝土的收缩徐变模式, 其同样涉及三个方面内容的定义的: 强度及刚度、徐变系数、收缩系数。

(1) 强度及刚度

程序中用户可以直接指定混凝土的各个龄期 t 对应的刚度修正系数 $\beta_E(t)$, 如下图左侧所示, 两个相邻数据点之间的刚度修正系数由内插求得。将得到的修正系数乘以弹性模量即可得到各个时间点对应的混凝土刚度值, 混凝土时间与刚度的关系曲线如下图右侧所示。

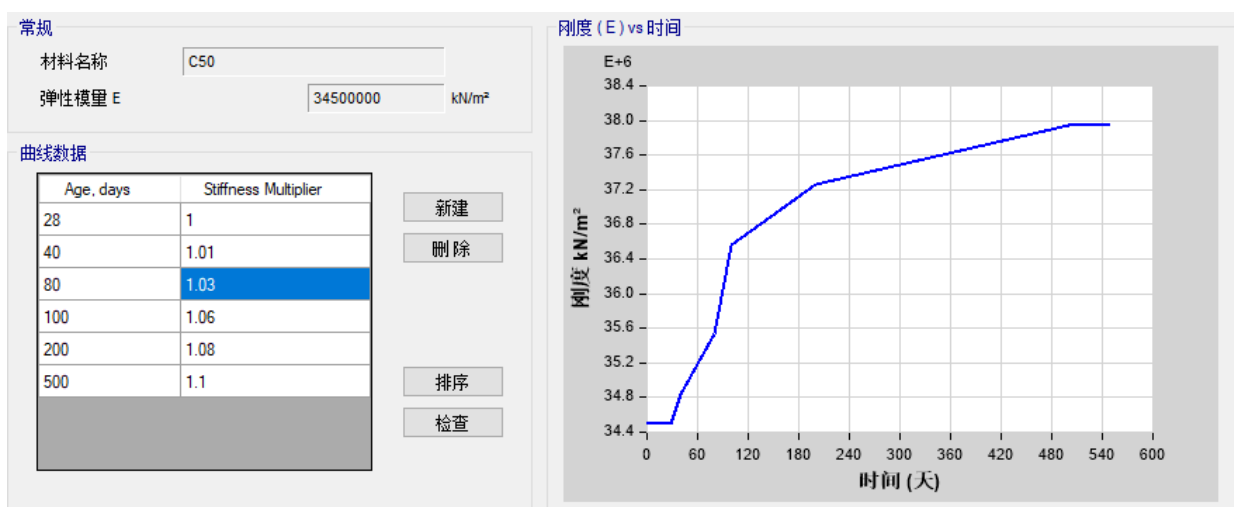


图 3 刚度曲线定义



(2) 徐变系数的定义

徐变系数 $\varphi_c(t, t_0)$ 的计算公式如下:

$$\varphi_c(t, t_0) = SF(h) \cdot \varphi_c^*(t, t_0) \quad (3-17)$$

其中 $\varphi_c^*(t, t_0)$ 为用户自定义的基本徐变系数。该徐变系数的定义方式与刚度曲线的定义方式相同, 由用户直接指定各个龄期 t 对应的基本徐变系数 $\varphi_c^*(t, t_0)$, 两个相邻数据点之间的刚度修正系数由内插求得。 $SF(h)$ 为名义尺寸的修正系数, 其计算公式如下:

$$SF(h) = a + b \exp(-h/h_0) \quad (3-18)$$

其中 a 、 b 、 h_0 为用户指定的常数, h 为构件的名义尺寸, 按照公式(2-1)计算。

(3) 收缩应变 $\varepsilon_{cs}(t)$ 的定义

收缩应变 $\varepsilon_{cs}(t)$ 的计算公式如下:

$$\varepsilon_{cs}(t) = SF(h) \cdot \varepsilon_{cs}^*(t) \quad (3-19)$$

其中: $\varepsilon_{cs}^*(t)$ 为用户指定的基本徐变应变。由用户直接指定各个龄期 t 对应的基本徐变应变 $\varepsilon_{cs}^*(t)$, 两个相邻数据点之间的徐变应变由内插求得。 $SF(h)$ 为名义尺寸的修正系数, 按照公式(3-18)计算;

4 算例

现在通过如下图所示的悬臂梁模型来简要校核程序依据规范计算收缩徐变的正确性。该悬臂梁模型为采用 C50 混凝土, 长 $L = 20m$, 截面为 $1 \times 1m$ 的矩形, 构件截面的刚度 $EI = 2875000000$ 。在完成该悬臂梁浇筑后的 7 天, 对该结构加自重为 $q = 2.5KN/m$ 的均布荷载, 现在计算该结构自重荷载作用在第 300 天的徐变与收缩, 计算时不考虑剪切变形。



图 4 悬臂梁模型

计算时选择收缩徐变类型为 CEB-FIP 90, 不考虑混凝土强度随时间的变化。环境年平均相对湿度取 80%, 水泥种类系数 β_{sc} 为 5, 收缩产生时混凝土龄期为 3 天。依据上节中的公式(3-15)到(3-16)可以求出第 300 天的徐变系数为 1.14591351, 收缩应变为 $5.07083E-05$ 。

在 SAP2000 中定义材料时间属性时, 需定义水泥类型系数、相对湿度、水泥种类系数 β_{sc} 、收缩龄期等信息。在程序中添加 C50 混凝土, 并按上述参数定义混凝土的时间属性。定义完成后, 点击“显示曲线”选项, 填入构件的名义尺寸信息, 及相应的计算龄期, 即可查看徐变系数及收缩应变的时间曲线, 如下图所示。

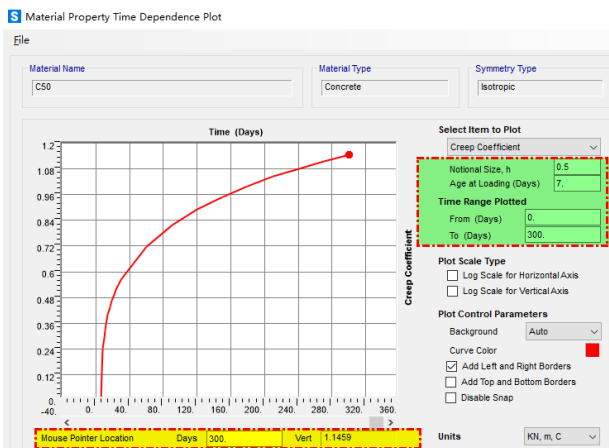


图 5-1 徐变系数

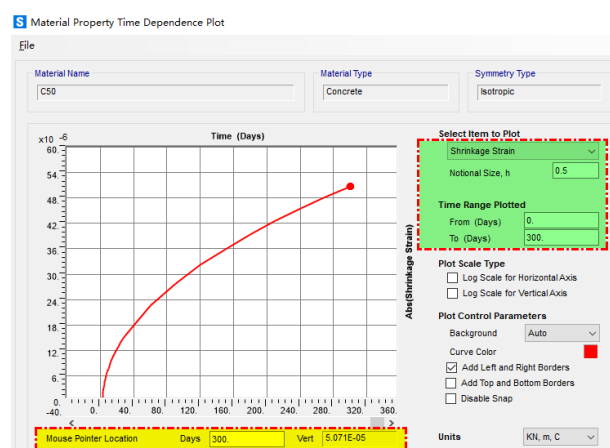


图 5-2 收缩应变



自重作用下节点 A 的竖向变形为 0.173913043m，由公式 (1-1) 依据徐变系数可求出在第 300 天 A 点总的竖向变形为 $0.173913 \times (1 + 1.14591351) = 0.3732\text{m}$ 。收缩变形=收缩应变×构件长度，因此该型的收缩变形为 $5.07083\text{E}-05 \times 20 = 0.000894517\text{m}$ 。对应的在 SAP2000 中分别仅考虑徐变与收缩，可计算出悬臂端在第 300 天的位移，如下图所示：

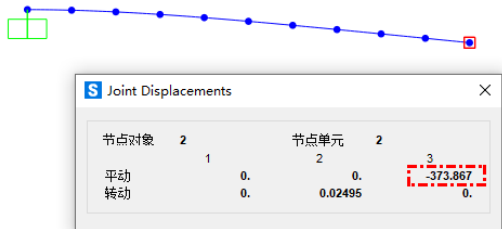


图 6-1 仅考虑徐变



图 6-2 仅考虑收缩

将上述结构整理到表-1，如下所示。可以看到程序计算结果是符合规范要求的。

表-1 CEB-FIP 90 徐变收缩计算结果比较

计算方法	徐变系数	徐变变形	收缩应变	收缩变形
手算	1.14591351	0.3732	5.07083E-05	0.000894517
SAP2000	1.1459	0.37286	5.071E-05	0.00089452

5 总结

影响混凝土收缩徐变的因素繁多，计算复杂。为简化计算，在实际工程中需要考虑混凝土的时间相关属性主要包括：混凝土的强度刚度的变化、徐变系数、收缩应变三个方面的内容，不同规范对这三方面的内容有不同的考虑及算法。SAP2000 中内置了多个国家和地区的规范算法，可以考虑混凝土龄期、构件名义尺寸、及混凝土配筋的影响，准确的依据规范要求计算混凝土结构的时间效应。

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. 2021.
- [2] Computers & Structures Inc., 北京筑信达工程咨询有限公司. CSI TECHNICAL NOTE MATERIAL TIME-DEPENDENT PROPERTIES. 2021.
- [3] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG D62-2004.人民交通出版社, 2004
- [4] 公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范: JTG 3362-2018.人民交通出版社, 2018

SAP2000 钢结构防火设计插件功能介绍

筑信达 孙雪艳

SAP2000 的钢结构设计是按照《钢结构设计标准 (GB50017-2017)》进行设计校核, 无钢结构防火设计功能。如果想使用 SAP2000 进行钢结构防火设计, 需要手动调整材料参数、构件设计参数、添加荷载组合等工作。钢结构中杆件类型多样, 构件的升温需要进行积分计算, 是一个繁琐耗时的过程。基于此, 我们开发了钢结构防火设计插件, 自动调整设计参数, 生成防火模型, 使用生成的防火模型可直接进行钢结构防火设计, 从而用户在 SAP2000 中可以实现钢结构防火设计。

最新的钢结构防火设计插件集成于筑信达工具箱 (CiSApps), 适用于 SAP2000 v23.1.0 及后续版本, 如图 1 所示。该插件基于《建筑钢结构防火技术规范 (GB51249-2017)》(后简称防火规范) 编制。本文介绍该钢结构防火设计插件的功能, 以及对 SAP2000 模型进行的调整。

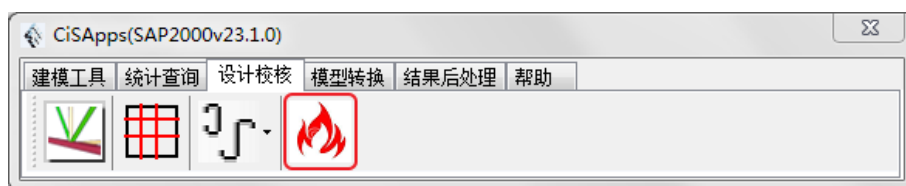


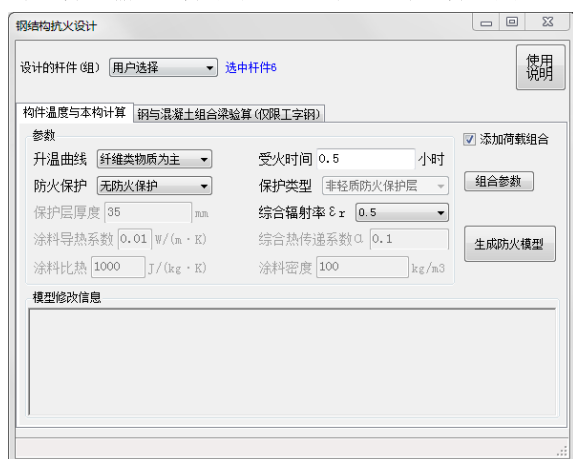
图 1 防火设计插件

1 概述

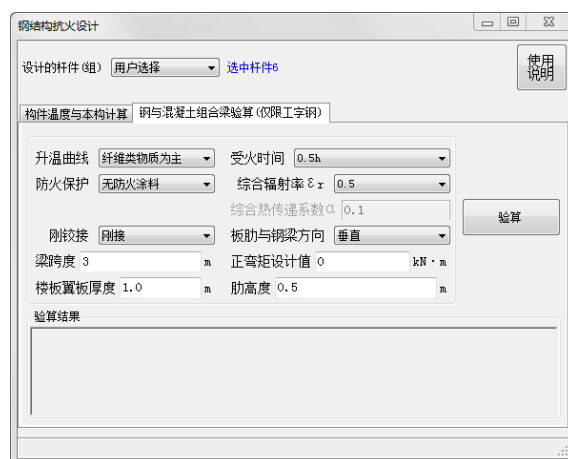
钢结构防火设计插件包含两个功能, 构件温度与材料本构计算、钢与混凝土组合梁验算, 如图 2 所示。

“构件温度与材料本构计算”根据输入参数进行计算和模型调整, 并生成防火模型, 在 SAP2000 中调用该模型可进行防火设计, 原始模型直接保留。防火模型自动保存在原模型所在文件夹下, 防火模型命名为原模型文件名+Fire1。

“钢与混凝土组合梁验算”该功能进行工字钢组合梁的承载力验算, 读取 SAP2000 模型的杆件信息, 根据输入参数进行组合梁验算, 输出验算结果, 是一个组合梁验算工具。



a) 构件温度与本构计算



b) 钢与混凝土组合梁验算

图 2 防火插件功能

2 构件温度与本构计算

构件温度与材料本构计算用于生成防火模型, 在生成防火模型过程中完成下述操作: 钢构件温度计算与指定、添加荷载组合、调整钢材弹性模量与钢材强度、自动调整设计相关参数 (轴向稳定系数 ϕ 和整体稳定系数 ϕ_b), 生成防火模型。各参数调整可以在生成的防火模型中查看, 原模型直接保留, 不做修改。





2.1 构件温度

依照防火规范第 6 章要求计算钢构件温度，计算钢构件升温的各项参数在对话框中输入。在防火模型中新定义温度荷载模式，荷载模式名称为 FireTemp-X，X 为数字，由插件自动判断得到，如图 3 所示，新定义的荷载模式是为 FireTemp-1，荷载类型为 Temperature。计算得到的钢构件温度升高，采用指定温度荷载的方式指定到构件的温度荷载模式中，如图 4 所示，在构件属性窗口荷载标签页中查看钢构件的升温，也可以通过显示荷载查看所有构件的温度。计算火灾前室内温度环境的温度取 20°C。

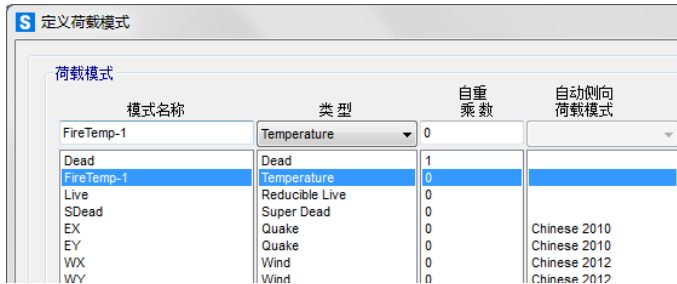


图 3 荷载模式定义



图 4 荷载指定查看

2.2 材料调整

高温下钢材的性能同常温下取值不同，在进行防火设计时，需要调整材料的热膨胀系数、弹性模量、钢材强度设计值等。钢结构中可以使用普通结构钢和耐火钢，插件中默认使用的钢材为结构钢。按照防火规范 5.1.1、5.1.2、5.1.3 条调整材料参数。

根据杆件使用的材料，复制新材料，并按照防火规范 5.1.1、5.1.3 条调整材料的热膨胀系数、弹性模量，如图 5 所示，新定义的材料名称 Q355 (W14X159-T757) 中 Q355 为原材料名称，括号内为原杆件截面+T+温度值，热膨胀系数为 1.4×10^{-5} ，弹性模量根据构件温度 757° 调整为 28695.404N/mm²。将新定义的材料按照材料覆盖项的方式指定给构件，如图 6 所示，在杆件的属性窗口中显示杆件 Story6_C10 使用的截面为 W14X159，材料覆盖项为 Q355 (W14X159-T757)。



图 5 材料属性调整

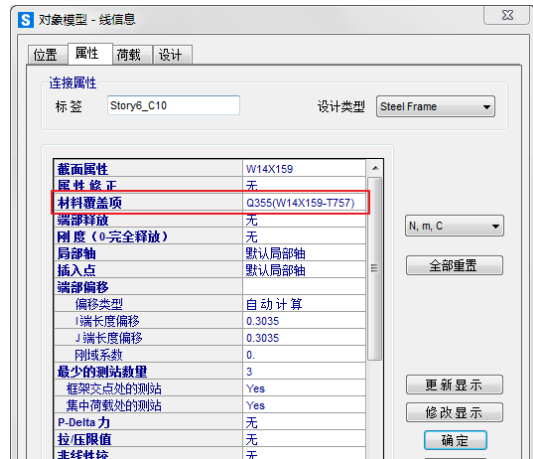


图 6 杆件覆盖项指定

材料设计强度按照防火规范 5.1.2 条进行调整，根据钢构件温度计算高温下钢材的屈服强度调整系数，由于不同厚度的材料设计强度不同，强度的调整指定在构件的设计覆盖项中，如图 7 所示。

50	抗弯强度设计值 f	39.2621
51	抗剪强度设计值 f _v	22.6468

图 7 构件设计强度调整

2.3 设计参数

钢结构的防火设计有三种方法，耐火极限法、承载力法、临界温度法，防火插件中采用承载力法，需要调整构件设计参数。依照防火规范 7.1.2 条和 7.1.4 条，防火插件根据钢构件温度和原设计中的稳定系数 φ 和 φ_b ，计算出 φ_T 和 φ_{bT} ，在防火模型中的构件设计覆盖项中查看轴向稳定系数和梁整体稳定系数调整结果，如图 8 所示。



35	轴向稳定系数 (Phi主)	0.9364
36	轴向稳定系数 (Phi次)	0.8178
37	梁的整体稳定系数 φ_b (主)	1.
38	梁的整体稳定系数 φ_b (次)	1.

图 8 构件设计参数调整

2.4 荷载组合自动生成

防火设计的荷载组合与常温设计不同，生成防火模型时根据荷载定义情况，按照防火规范 3.2.2 条自动生成用于进行钢结构耐火承载力极限状态设计的荷载组合。防火模型中清空原有的荷载组合，按照规范添加防火设计荷载组合。荷载组合参数可设置，如图 9 所示。生成的荷载组合如图 10 所示，荷载组合名称为 FireComX，其中 X 为荷载组合编号。

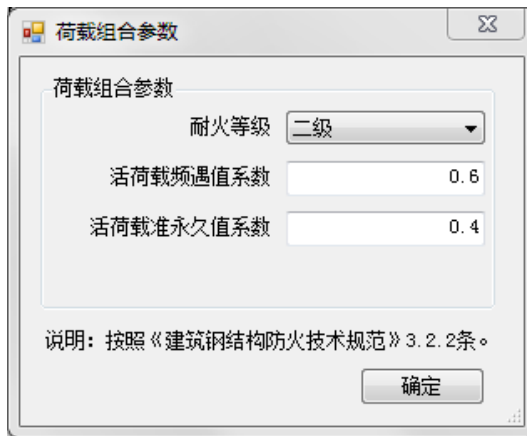


图 9 荷载组合系数



图 10 荷载组合

2.5 防火模型信息说明

防火模型生成后，在对话框的信息框中显示模型的修改信息，包括：构件名称、构件截面、原始材料、构件材料覆盖项、热烟气平均温度、钢构件温度、钢材弹性模量、屈服强度信息。



图 11 防火模型信息说明



2.6 注意事项

- 1) 防火插件可以选择需要进行修改的构件，可以按照分组、选择构件等方式选择构件。
- 2) 使用防火插件前要先进行钢结构构件设计，如果模型未进行钢结构设计，在生成防火模型时，插件不能调整钢材设计强度以及稳定系数 φ 和 φ_b ，这会导致设计结果偏于不安全。
- 3) 目前防火规范中的设计方法为一阶方法，需要在钢框架设计首选项中设置设计方法为“**Limited 1st order**”，如采用了其他方法，程序会给出警告信息并自动中止。
- 4) 所有的计算均假定钢材为结构钢（非耐火钢），防火材料完全贴合。

3 钢与混凝土组合梁验算

钢与混凝土组合梁验算按照防火规范 8.3 中的承载力法进行组合梁承载力验算。各项参数由用户输入，根据输入参数验证组合梁。验算完成后在信息框中显示验算结果，包括：钢构件上翼缘温度、下翼缘温度、上翼缘屈服强度、下翼缘屈服强度、抵抗弯矩设计值，设计是否通过等信息。



图 12 组合梁验算结果信息

4 结语

钢结构防火插件按照承载力设计方法调整结构模型中材料弹性模量、对构件施加升温荷载、添加荷载组合、对构件的设计参数进行调整，生成防火模型，使 SAP2000 可以按照防火规范进行钢结构设计。当前版本并未提供另一种防火设计方法——临界温度法，后续版本已计划实现此方法。

参考资料

- [1]建筑钢结构防火技术规范：GB51249-2017[S].北京：中国计划出版社，2017

PMM 法与规范算法计算单片墙肢承载力对比分析

筑信达 刘慧璇

目前,对于钢筋混凝土构件正截面承载力的计算,包括我国在内的大多数国家规范,均基于平截面假定等几个基本假定,通过静力平衡方程和变形协调方程完成。然而,截面各状态下的平衡方程是否与截面应变分布真正匹配,能否保证结果的准确性,本文将通过其与 PMM 法的对比分析进行探讨。

1. 规范算法

对于剪力墙的正截面承载力设计,《混凝土结构设计规范》^[1] (以下简称《混规》)和《高层建筑混凝土结构技术规程》^[2] (以下简称《高规》)均给出了相关规定。按照平截面假定,不考虑受拉混凝土的作用,受压区混凝土按矩形应力图块计算,可列轴力与弯矩平衡方程如下:

$$N \leq A'_s f'_y - A_s \sigma_s - N_{sw} + N_c$$

$$N(e_0 + h_{w0} - \frac{h_w}{2}) \leq A'_s f'_y (h_{w0} - a'_s) - M_{sw} + M_c$$

$$N_c = \alpha_1 f_c \xi b h_0$$

$$M_c = \alpha_1 f_c \xi b h_0^2 (1 - 0.5 \xi)$$

注: A'_s 为受压钢筋面积, A_s 为受拉钢筋面积; 为了统一比较, 本文不考虑附加偏心距 e_a 。

通过混凝土截面受力状态、受压区高度来区分大偏压、小偏压和大偏拉。各种状态下的计算公式如表 1:

表 1 剪力墙正截面承载力计算公式

截面破坏形态	基本假定	计算公式	
		高规	混规
大偏压	截面受压, $x \leq \xi_b h_{w0}$, 受拉、受压端钢筋都达到屈服。 高规假定 1.5 倍受压区范围外的分布钢筋全部受拉屈服。	$\sigma_s = f_y$ $N_{sw} = (h_{w0} - 1.5x) b_w f_{yw} \rho_w$ $M_{sw} = \frac{1}{2} (h_{w0} - 1.5x)^2 b_w f_{yw} \rho_w$	$\sigma_s = f_y$ $N_{sw} = - \left(1 + \frac{\xi - \beta_1}{0.5 \beta_1 \omega} \right) A_{sw} f_{yw}$ $M_{sw} = - \left[0.5 - \left(\frac{\xi - \beta_1}{\beta_1 \omega} \right)^2 \right] A_{sw} f_{yw} h_{sw}$ $\omega = (h_0 - a'_s) / h_0$
小偏压	截面受压, $x > \xi_b h_{w0}$, 受压钢筋屈服, 受拉分布筋及端部钢筋未屈服。 高规忽略分布钢筋的作用。	$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_{w0}} - \beta_1 \right)$ $N_{sw} = 0$ $M_{sw} = 0$ $\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{f_y}{E_s \varepsilon_{cu}}}$	$\sigma_s = \frac{f_y}{\xi_b - \beta_1} \left(\frac{x}{h_0} - \beta_1 \right)$ $N_{sw} = - \left(1 + \frac{\xi - \beta_1}{0.5 \beta_1 \omega} \right) A_{sw} f_{yw}$ $M_{sw} = - \left[0.5 - \left(\frac{\xi - \beta_1}{\beta_1 \omega} \right)^2 \right] A_{sw} f_{yw} h_{sw}$ $\omega = (h_0 - a'_s) / h_0$
大偏拉	截面受拉, 仅考虑钢筋的作用, 合力作用点位于约束边缘构件中心。	$N \leq \frac{1}{\frac{1}{N_{0u}} + \frac{e_0}{M_{wu}}}$ $N_{0u} = 2A_s f_y + A_{sw} f_{yw}$ $M_{wu} = A_s f_y (h_{w0} - a'_s) + A_{sw} f_{yw} \frac{(h_{w0} - a'_s)}{2}$	

2. PMM 法

关于 PMM 法的设计原则与流程,文献[3]中已有详细介绍,不再赘述。其基本原理就是通过材料的实际应力得到截面内力,根据混凝土或钢筋的破坏准则,控制得到极限承载力 (M_u 和 N_u)。根据钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理和各阶段控制应变,可以对各阶段的破坏形态进行定量的描述,如表 2^[3]。

表 2 PM 曲线各段破坏形态

截面破坏形态	混凝土和钢筋的状态	
	混凝土上表面	底部钢筋
极小偏压	应变为 ϵ_{cu} , 受压破坏	受压
小偏压	应变为 ϵ_{cu} , 受压破坏	逐步转变为受拉, 达到 ϵ_y
大偏压	应变为 ϵ_{cu} , 受压破坏	逐渐达到 ϵ_{su}
大偏拉	应变小于 ϵ_{cu} , 逐渐减为零	应变为 ϵ_{su} , 受拉破坏
小偏拉	—	应变为 ϵ_{su} , 受拉破坏

3. 案例对比与分析

由于墙肢的长短、配筋率的大小都会影响 PMM 曲面的形状,本文分别对长短墙肢在各种受力状态下的极限承载能力进行了对比。案例中短墙长度 1700mm,墙厚 200mm,分布筋 $\phi 8@100$,混凝土强度等级 C30,钢筋 HRB335;长墙长度 4020mm,墙厚 180mm,分布筋 $\phi 8@100$,混凝土强度等级 C30,钢筋 HRB335。边缘构件长度均为 400mm。对相同轴力下的各截面抗弯承载力 M_u 和受压区高度 x 进行对比,规范算法结果由手算得到, PMM 算法的结果与截面应变分布图基于 CiSDesigner 得到。由于篇幅限制,仅附上部分构件设计细节,如表 3、4 所示:

表 3 不同状态下短墙肢对比细节

类型	构件基本情况	高规算法(kN·m)	PMM 算法(kN·m)	PMM vs 高规	P-M 曲线	截面应变分布示意图
		混规算法(kN·m)		PMM vs 混规		
大偏压	配筋率 1.15% 轴力 650kN	988.71 (300.95)	939.49 (308.13)	-4.98%		
		967.00 (276.36)		-2.84%		
	配筋率 1.91% 轴力 650kN	1224.12 (300.95)	1176.88 (308.13)	-3.86%		
		1202.40 (276.36)		-2.12%		
小偏压	配筋率 1.01% 轴力 3000kN	1234.81 (1007.82)	1220.64 (989.09)	-1.15%		
		1265.86 (978.21)		-3.57%		
	配筋率 1.15% 轴力 3500kN	1109.36 (1132.37)	1106.84 (1115.9)	-0.23%		
		1155.13 (1101.21)		-4.18%		

大偏拉	配筋率 1.15% 轴力 100kN	412.69	476.71	15.51%		
	配筋率 1.15% 轴力 300kN	282.69	330.90	17.06%		

注：表中蓝色字体为各算法下的受压区高度，单位 mm。

表 4 不同状态下长墙肢极限抗弯承载力对比

类型	构件基本情况	高规算法(kN·m)	PMM 算法 (kN·m)	PMM vs 高规	P-M 曲线	截面应变分布示意图
		混规算法(kN·m)		PMM vs 混规		
大偏压	配筋率 1.28% 轴力 3000kN	5385.31 (1533.41)	5280.65 (1429.33)	-1.94%		
		5467.62 (1434.32)		-3.42%		
	配筋率 1.12% 轴力 2000kN	4650.03 (1120.67)	4535.26 (1050.12)	-2.47%		
		4658.52 (1043.44)		-2.65%		
小偏压	配筋率 2.62% 轴力 7000kN	4312.13 (3015.22)	4576.57 (2868.32)	6.13%		
		4913.24 (2829.25)		-6.85%		
	配筋率 1.75% 轴力 7000kN	3746.90 (3086.36)	4028.79 (2948)	7.52%		
		4336.13 (2877.93)		-7.09%		

大偏拉	配筋率 1.41% 轴力 500kN	1291.07	1312.06	1.63%		
	配筋率 1.75% 轴力 300kN	1913.10	1919.33	0.33%		

注：表中蓝色字体为各算法下的受压区高度，单位 mm。

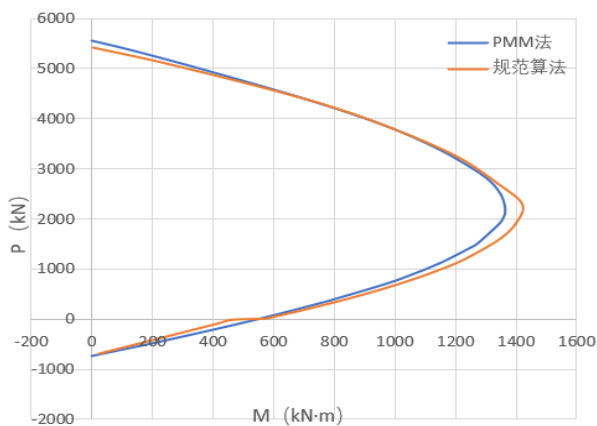
可以看见，偏拉时，规范算法结果偏小，这是因为偏拉时部分混凝土受压，规范算法则完全忽略了混凝土作用；且规范算法假定合力点为约束边缘构件中心，与实际应变分布存在偏差。

偏压时，混规算法得到的结果均偏大，对于小偏压状态的长墙肢尤为明显，主要由于：计算时未扣除钢筋面积，采用的混凝土毛面积，高估了混凝土的作用；大偏压时假定边缘构件范围内钢筋屈服，实际并未完全屈服；混规算法计算得到的受压区高度均偏小，故受拉钢筋应力偏大，导致计算承载力时高估了分布筋的作用。边缘构件的配筋率对结果未发现明显影响。而高规算法基于混规算法做了进一步的简化，考虑了更多的计算假定，如大偏压时假定一定范围的分布筋屈服、小偏压时忽略分布筋的作用等，这使得计算结果可能偏大，也可能偏小。下文将通过 PM 曲线的对比具体分析。

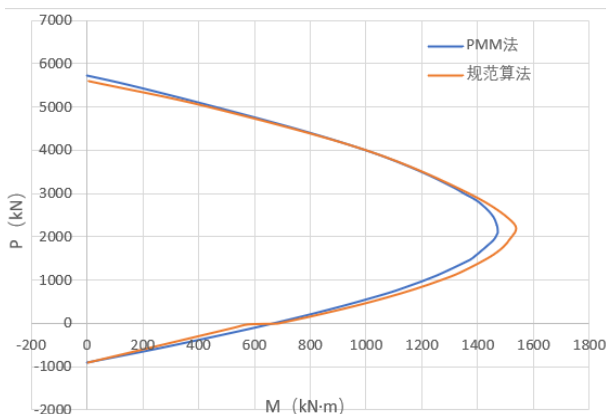
4. PM 曲线对比与分析

从以上对比可以看见，混规算法若不考虑附加偏心距 e_a ，得到的结果均偏小，而高规算法在不同情况下的承载力结果不一。为了更清晰的对比高规与 PMM 两种算法的差异，现对不同长度、不同配筋率的墙肢，采用两种算法绘制 PM 曲线，结果如图 1 所示。

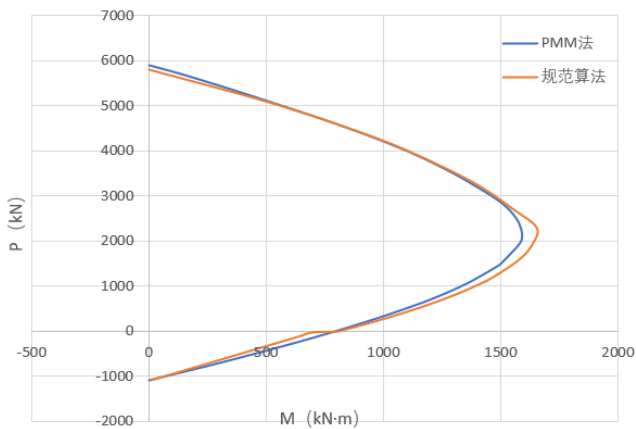
分析图 1 可以发现，小偏压时，由于高规公式忽略了分布钢筋的作用，得到的承载力较 PMM 算法小，对于长墙肢差异更为明显；大偏压时，高规假定受压受拉钢筋均屈服，而对于短墙肢，其受压钢筋很有可能未屈服，导致高规算法得到的极限承载力较 PMM 法要大，对于长墙肢，两种算法的结果几乎一致；大偏拉时，对于短墙肢，由于高规算法考虑的钢筋合力中心存在一定误差，且忽略了混凝土的作用，结果偏小，对于长墙肢，两种算法结果吻合。该结论与第 3 节的结果一致。此外，随着边缘构件配筋率的增大，分布筋的贡献越小，两种算法的误差越小。



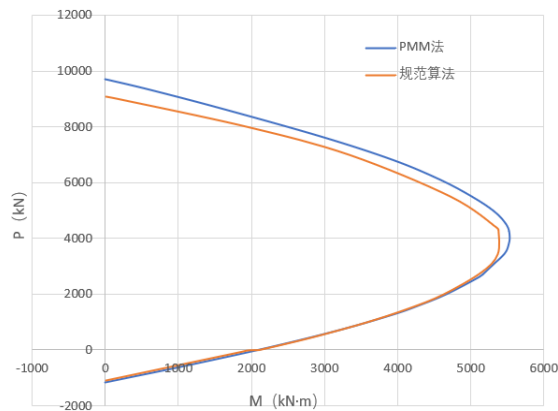
(a.1) 短墙肢、配筋率 1.15%



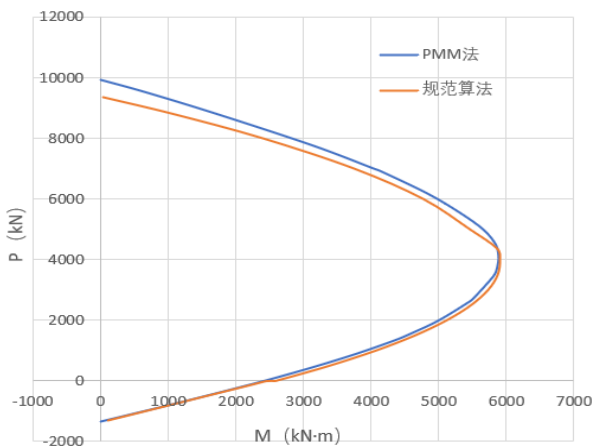
(a.2) 短墙肢、配筋率 1.51%



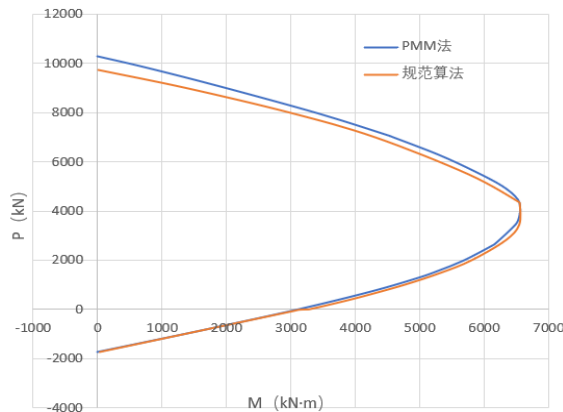
(a.3) 短墙肢、配筋率 1.91%



(b.1) 长墙肢、配筋率 1.12%



(b.2) 长墙肢、配筋率 1.75%



(b.3) 长墙肢、配筋率 2.62%

图 1 高规算法与 PMM 法承载力曲线对比图

5. 小结

本文对比分析了高规、混规和 PMM 法下不同长度、不同配筋率的单片墙肢在各种受力状态下的抗弯承载力，其中规范算法结果由手算得到，PMM 算法的结果借助 CiSDesigner 得到，得到了以下趋势：

(1) 根据混规计算单肢墙的承载力时，由于计算时未扣除钢筋面积而采用的混凝土毛面积，大偏压时假定边缘构件范围内钢筋屈服，计算得到的受压区高度偏小等原因，高估了混凝土和钢筋的作用，计算结果偏大。

(2) 根据高规计算单肢墙的承载力时，由于计算的假定与简化，计算结果可能偏大、也可能偏小。小偏压时，由于高规公式忽略了分布钢筋的作用，导致得到的承载力偏小，其差异随着墙肢长度增大而增大；大偏压时，对于短墙肢，其受压钢筋很有可能未屈服，导致高规算法的结果偏大；大偏拉时，由于高规算法考虑的钢筋合力中心存在一定误差，导致规范算法偏小，其误差随着墙肢长度增大而减小。

总体来说，规范算法与 PMM 算法得到的结果较吻合，误差约为 5%，可以满足工程需求。

参考文献

- [1] GB 50010-2010 混凝土结构设计规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.
- [2] JGJ3-2010 高层建筑混凝土结构技术规程[S]. 北京：中国建筑工业出版社，2010.
- [3] 李楚舒. 钢筋混凝土正截面极限承载力设计的基本原理和快速计算方法. 技术通讯, 第十五期. 北京筑信达工程咨询有限公司. 2020, 9.

地质环境及岩土工程分析软件包 PLAXIS LE 功能介绍

筑信达 郭晓通

PLAXIS LE 是 Bentley 推出的地质环境及岩土工程分析软件包，其前身为加拿大著名的地质环境及岩土工程分析软件包 SoilVision，PLAXIS LE 可应用于涉及边坡稳定性、地下水、固结或这些复杂场景组合的工程项目的分析，LE 的含义是极限平衡(Limit Equilibrium)。PLAXIS LE 包含 5 个主要模块，分别为三维地质建模模块 PLAXIS Designer，边坡模块 Slope Stability，渗流模块 Groundwater，固结模块 Consolidation，动力模块 Dynamic。

1. PLAXIS Designer

Designer 模块是一个非常适合于岩土及工程地质领域的地质三维模型创建程序，可以自动/半自动地创建复杂三维地质模型。相比与传统地矿领域的三维地质建模产品，它在功能性与建模过程上弱化了地层层序、成因类型、特殊地质构造、储层等地学概念，而是偏向于高程数据、水位、钻孔、地层等对象的三维快速建模与可视化，同时可以快速创建坝、路、坑等工程对象。PLAXIS Designer 用户友好度高，即可以创建概念模型用于定性分析及展示，也可以作为数值分析的几何模型前处理工具。

Designer 中拥有多种几何对象类型，包括点、线、曲面、区域、体等，其中曲面对象又包括多边形面 (Polygon)、三角网格面 (mesh)、四边形网格面 (grid) 三种。Designer 中的模型创建主要分为两种。第一种模型创建方式是基于高程数据的，点、线、等对象记录的高程数据可由克里金插值方法生成三维曲面，多个曲面对象和区域对象组合可以生成体 (如图 1 所示)。而点、线、曲面、区域四种对象可以全自动地相互转化。

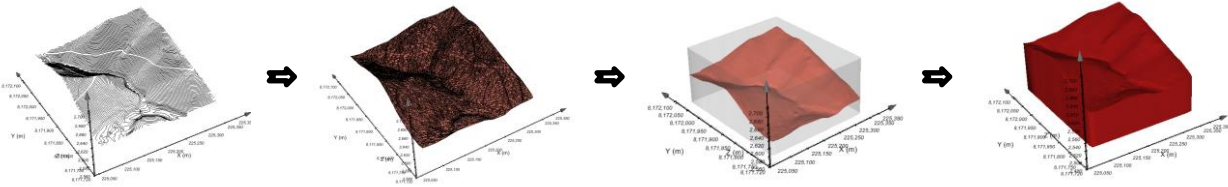


图 1 简单模型的快速创建

另一种模型创建方式是基于钻孔的。用户可以将钻孔及分层记录快速导入 Designer 或直接将 gINT/OpenGround 数据导入 Designer 进行钻孔建模。钻孔转化为地层面、地质体的方式同样是全自动的，程序会自动处理透镜体、尖灭等特殊地层分布特性。此外 Designer 中还提供了格栅功能，格栅即为钻孔剖面，该功能允许用户手动创建剖面并绘制剖面。基于绘制好的剖面用户可以进行地层界面、地质体重生成。

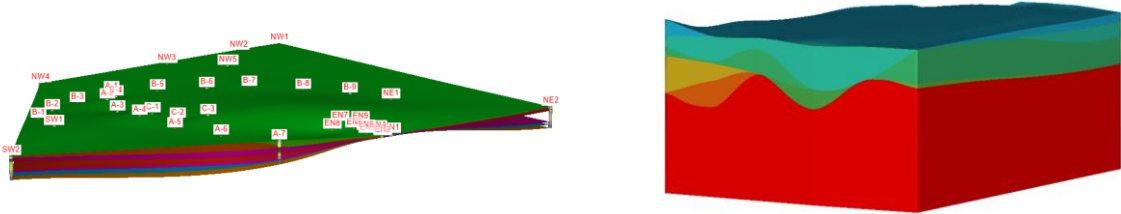


图 2 基于钻孔的建模

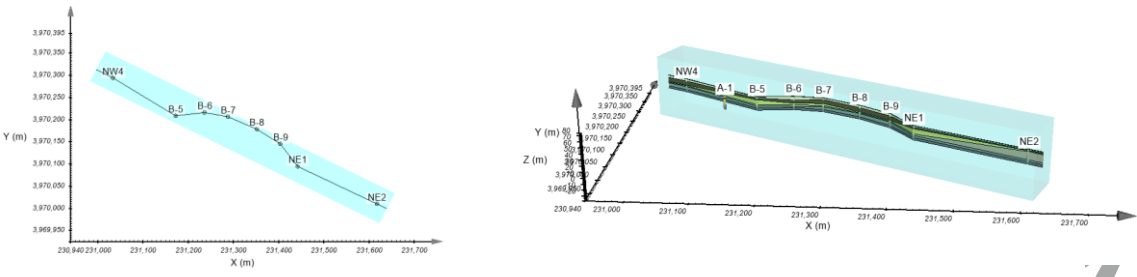


图 3 钻孔格栅功能

Designer 拥有十分强大的三维模型贴图功能，用户可以将卫星图片粘贴到地表面上，程序会自动进行曲面与图片的匹配（如图 4）。

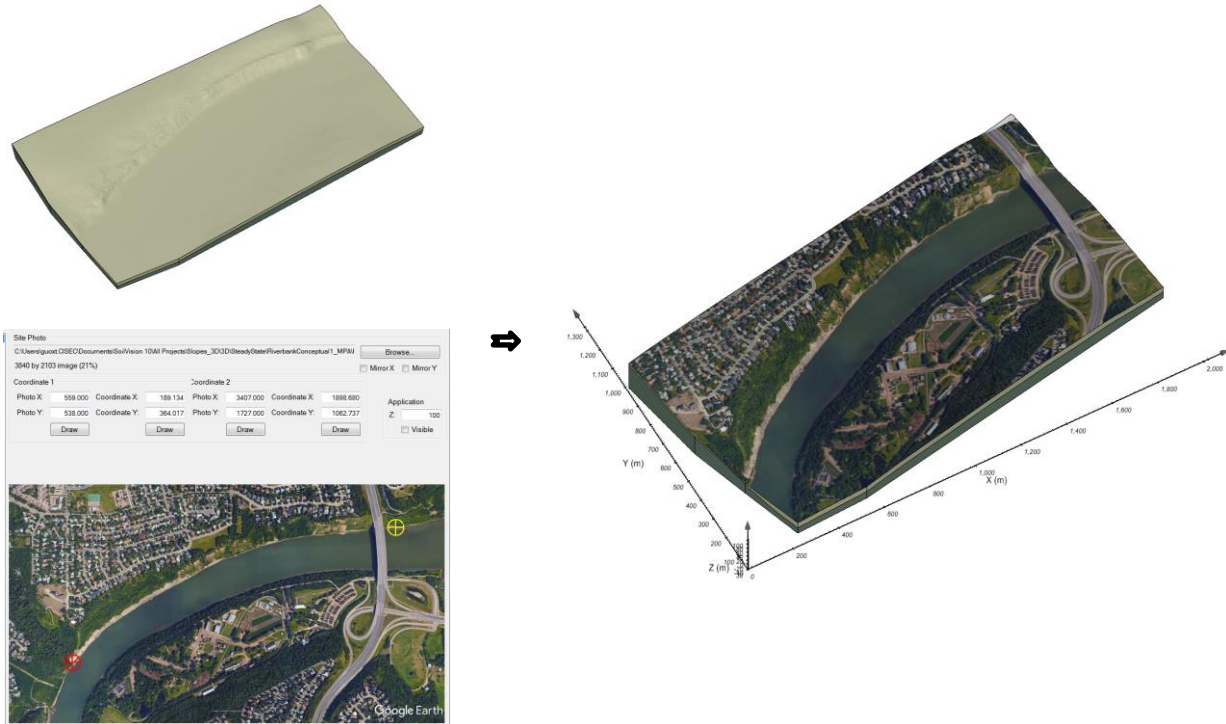


图 4 地表面粘贴卫星图片

此外，Designer 还有如下主要功能：

- (1) 允许用户进行 dxf、3ds、csv、dem、xml、.node 等多种格式的对象导入及 dxf、csv、stl、.obj 等格式的对象导出。
- (2) 允许用户自由绘制点、线、面等几何图形，并在模型上添加各类标注，支持对三维模型进行二维切片。
- (3) 允许用户进行几何图形间的交叉、捕捉、合并等布尔运算，允许用户自由编辑曲面的节点数据。
- (4) 测量模型中各点间距、坡度，计算挖方、填方体积。
- (5) Designer 中的体模型可直接导入 PLAXIS LE 分析模块进行分析计算。

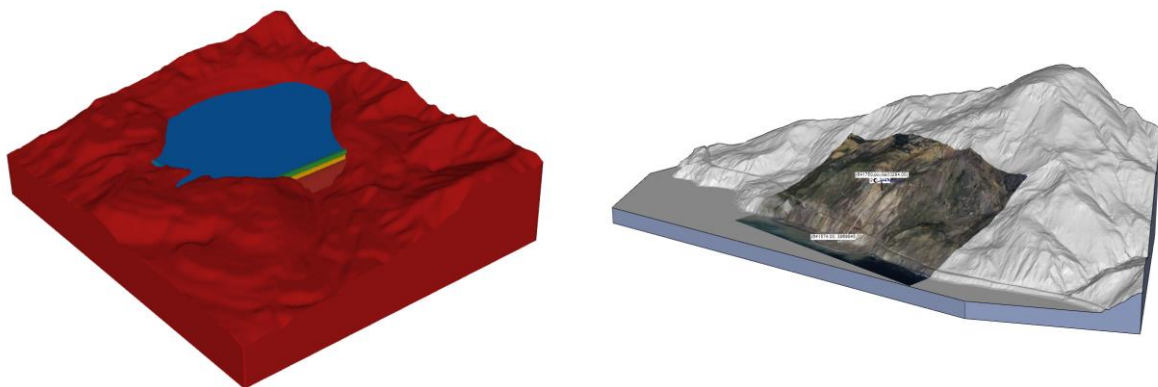


图 5 PLAXIS Designer 创建的典型模型

2. Slope Stability 模块

作为 PLAXIS LE 的核心分析模块，Slope Stability 具有世界先进的边坡极限平衡分析功能。除常规的二维边坡滑移面搜索与极限平衡计算外，Slope Stability 具有三维极限平衡计算、多平面分析、布谷鸟搜索等先进功能特性。

首先，Slope Stability 模块包含了国际常用的 Bishop、Janbu、Ordinary、Spencer、Mogenson-Price、GLE、Sarria 等极限

平衡计算方法及应力相关的 **Kulhawy** 计算方法，并允许用户选择同时使用多种算法进行边坡稳定性计算，方便用户进行不同方法间的结果对比（如图 6）。除常规的二维计算外，该模块把各计算方法扩展到三维，允许用户定义三维的滑移面进行三维极限平衡法的稳定性分析（如图 7）。

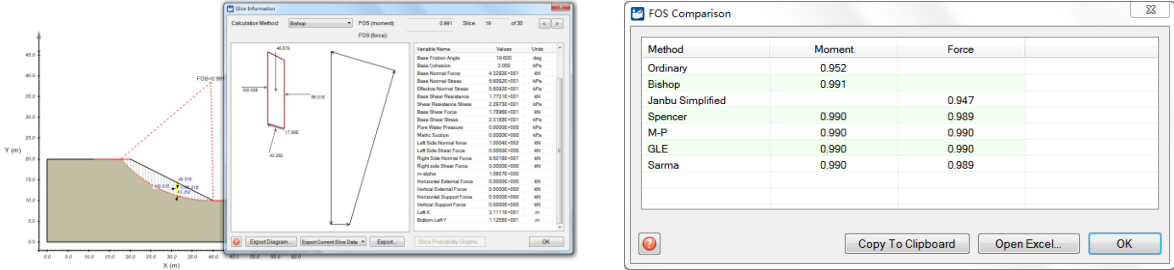


图 6 多种极限平衡计算方法的对比

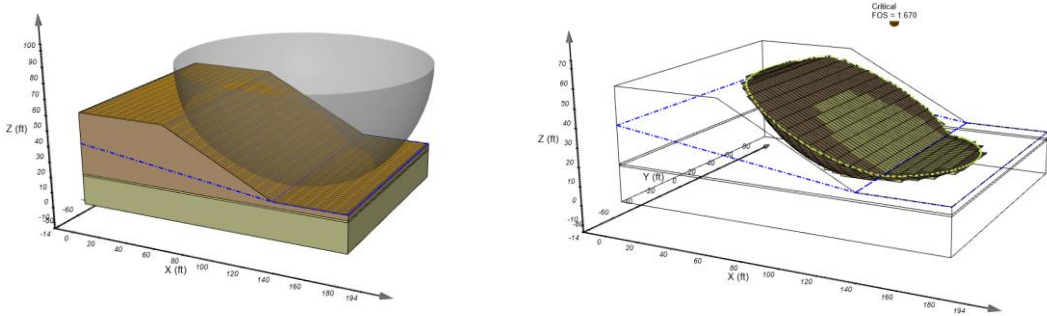


图 7 三维极限平衡分析

Slope Stability 模块具有多平面分析功能，用户可以直接在三维模型上手动/半自动指定需要进行计算的二维剖面，程序会统一计算这些剖面上的安全系数。如图 8 所示，地表面上白色的线即为需要计算的二维剖面，计算后，程序会在三维模型上展示各二维剖面的安全系数计算结果。

多平面分析可以进行三维极限平衡计算。如图 6 所示，程序会基于用户定义的剖面整体范围及各剖面所在位置进行三维滑移面搜索，之后，程序会给出各三维滑块的安全系数及模型范围内的安全系数分布云图。

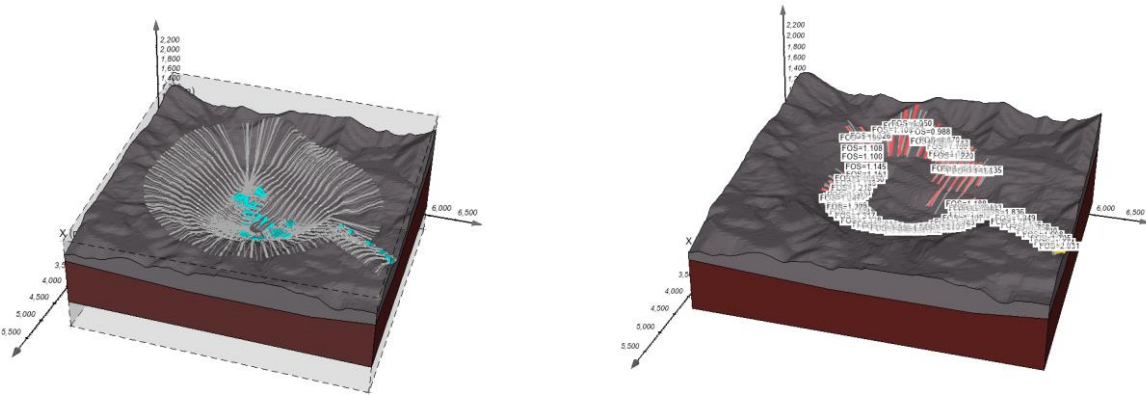


图 8 二维多平面分析

Slope Stability 模块包含了 5 种滑移面搜索方法，除常规的全自动/半自动搜索方法外，程序包含了布谷鸟搜索(Cuckoo Search)功能。布谷鸟搜索^[1]是最新的自然启发式优化算法之一，该算法基于一些杜鹃物种的孵化寄生行为，由剑桥大学的 Xin-She Yang 和 Suash Deb 开发。**Slope Stability** 模块中将布谷鸟搜索法作为滑动面的主要搜索方法之一，可单独使用或结合多平面分析功能在模型中快速搜索二维、三维的潜在滑移面。

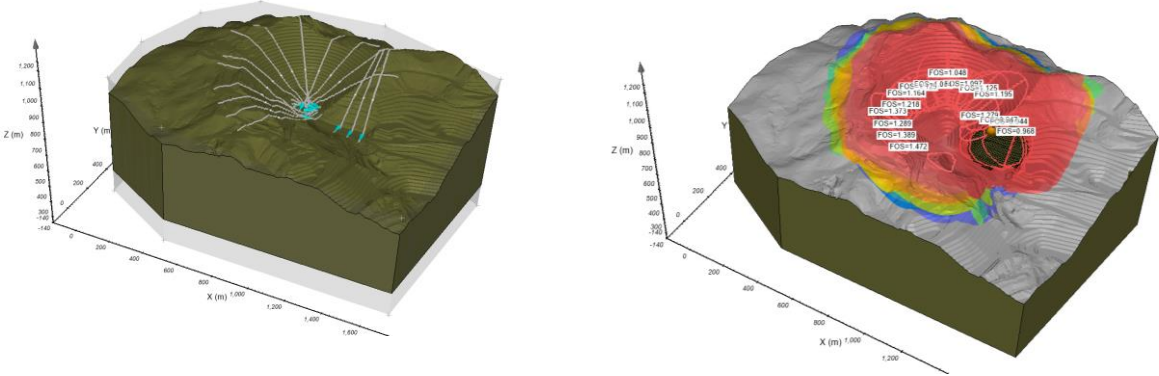


图9 三维多平面分析

Slope Stability 模块允许用户在模型中添加荷载，创建锚杆、土工格栅、土钉、微型桩等支护结构，用户可以直接在该模块中进行边坡的二维、三维设计工作。在分析土体沿着滑动面剪切破坏的同时，也可以考虑斜坡中的拉裂隙与拉伸破坏。同时，模块中提供了降雨与地震等工况的快捷设置选项，并支持与 Groundwater 模块间的耦合分析。对于岩质边坡，Slope Stability 模块允许用户在三维模型中快捷地定义结构面位置及属性，分析结构面的空间组合及岩质边坡的安全系数（如图 10）。

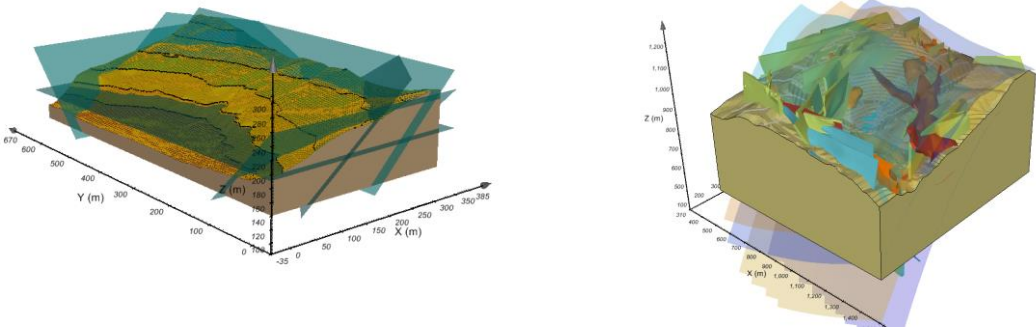


图10 岩质边坡的分析

3. 非饱和土数据库及 Groundwater、Consolidation、Dynamic 模块

PLAXIS LE 中保留了 SoilVision 中的非饱和土数据库，该数据库包含了 6200 多种土-水特征曲线（SWCC）数据，包含 V-G, Fredlund and Xing 在内的 9 种非饱和模型，用户可以基于土体类型、颗分数据、基本物理力学属性估算土的 SWCC 曲线（如图 8 所示）。除非饱和特性外，该数据库也支持用户对土的抗剪强度、渗透系数、导热性能等参数进行估算。

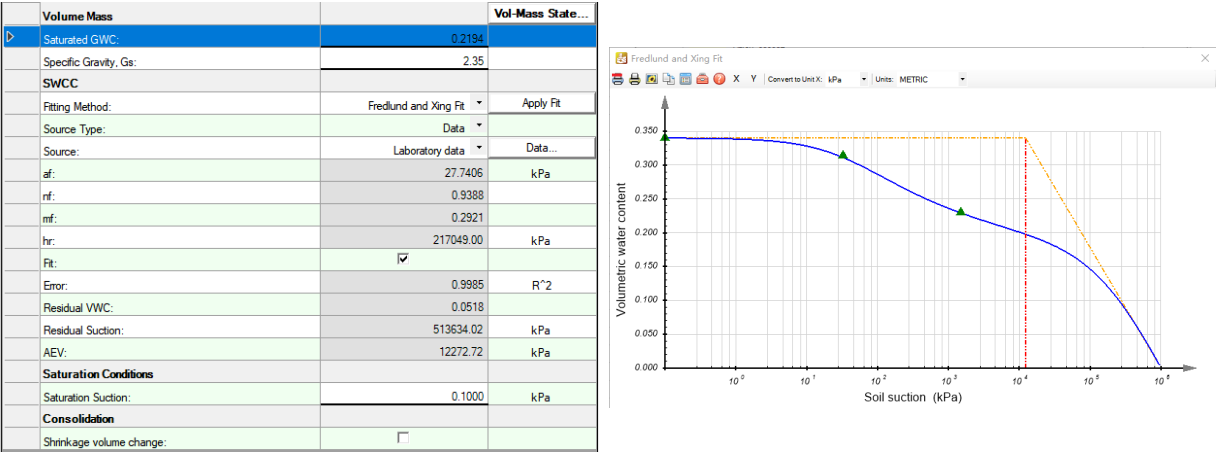


图8 非饱和土 SWCC 估算

PLAXIS LE 中提供了基于有限元法的一维、二维、三维渗流、固结、动力分析功能。其整体使用逻辑与 PLAXIS 类似，

首先创建几何模型，施加边界条件，然后进行三角形/四面体网格剖分，设置分析阶段进行计算。PLAXIS LE 中不含结构单元，无法进行土-结构相互作用的分析，其功能特性方面偏向于处理大范围、复杂地质结构及边界条件下的岩土体应力场、渗流场、动力场问题。

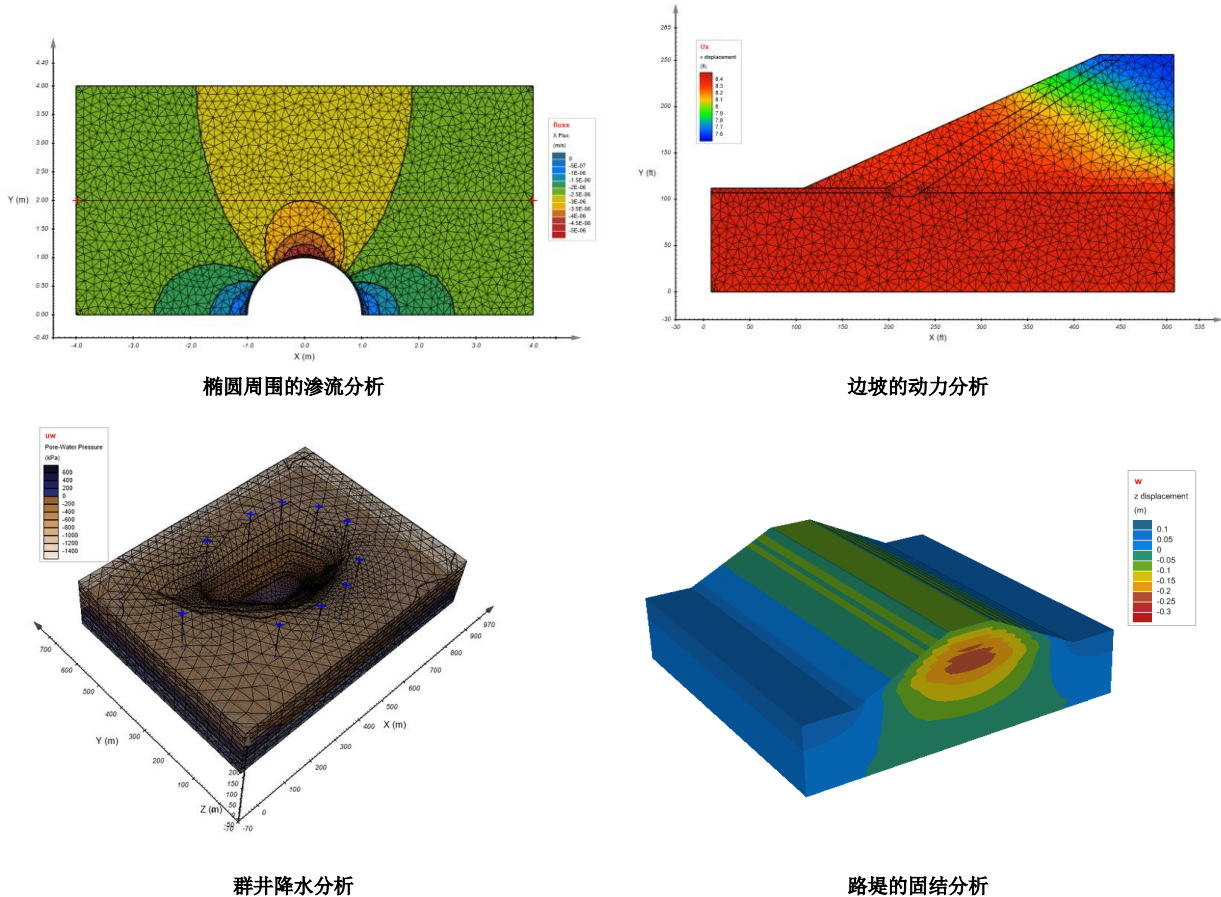


图 9 PLAXIS LE 中的渗流、固结、动力分析模型

4. 小结

PLAXIS Designer 模块具有良好的用户友好度与建模自动化程度，创建的展示模型可协助工程师进行场地三维地表、地层的可视化，直观地了解场地特性，也可应用于各类成果报告中；同时 Designer 创建的三维模型可作为几何模型应用于 PLAXIS LE 的其它模块或导入其它程序进行分析计算。

PLAXIS LE 的 Slope Stability 模块非常适合应用于涉及边坡问题的工程设计与分析中。其强大的多平面分析、三维滑动面搜索、三维极限平衡计算等功能可利用于水利、道路、矿业、地质灾害等多个领域中。一方面，Slope Stability 模块可利用于单一或区域斜坡稳定性的评估，获取坡体安全系数及分布；另一方面，可以在常规的边坡设计计算中使用，并加入到三维边坡设计流程中，相比于传统的二维剖面计算，可显著提高工程师的设计效率。

PLAXIS LE 的非饱和数据库具有强大的 SWCC 估算功能，可协助用户在科研与工程中获取精确的土体非饱和参数。

PLAXIS LE 中的渗流、固结、动力模块可方便工程师处理大范围及复杂地质条件下的岩土体渗流、应力、动力场分布问题。

参考资料

- [1] X.-S. Yang, S. Deb, Cuckoo search via Levy flights, in: Proc. of World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC 2009), December 2009, India. IEEE Publications, USA, pp. 210-214 (2009).
- [2] PLAXIS LE SlopeStability_Theory_Manual, The Bentley System Teams (2021).

PLAXIS LE 与 PLAXIS 在边坡工程中的协同应用

筑信达 郭晓通

PLAXIS 系列产品目前主要包括 PLAXIS、PLAXIS LE 及 PLAXIS Monopile Designer，其中涉及边坡工程问题的主要是前两者。PLAXIS 是岩土工程通用的有限元分析程序，可用于分析岩土体的应力与变形特性、岩土体与结构之间的相互作用、岩土工程施工过程等问题，目前已广泛应用在岩土工程领域的科研和生产中；PLAXIS LE 是 Bentley 新近推出的岩土工程分析程序，作为 PLAXIS 在岩土工程应用中的功能补充，提供了精细化的三维地质建模工具及基于极限平衡法的边坡分析功能。本文主要向各位工程师介绍 PLAXIS 与 PLAXIS LE 在边坡工程领域的协同应用。

1. PLAXIS 与 PLAXIS LE 产品的功能对比

PLAXIS 软件包可以进行岩土体的弹塑性变形、安全性、动力、渗流、流固耦合、固结等多方面的分析；PLAXIS LE 软件包是模块化的，共包含 PLAXIS Designer，Slope Stability，Groundwater，Consolidation，Dynamic 5 个主要模块，可用于三维地质模型创建及边坡稳定性、渗流、固结、动力的分析。同为岩土工程分析程序，PLAXIS 与 PLAXIS LE 有一小部分功能重叠，但各自的侧重点不同：

(1) 从分析方法来看，PLAXIS 是完全的有限元分析程序，而 PLAXIS LE 虽具有有限元功能，但核心模块仍为极限平衡法的稳定性计算，其有限元模块更多地起辅助作用。

(2) 从分析对象来看，PLAXIS 适合于处理工程岩土体、土-结构相互作用等问题，而 PLAXIS LE 的有限元模块不含结构单元，更偏向于岩土体本身的分析及非饱和土的分析计算。

(3) 从分析范围来看，PLAXIS LE 善于处理大场地及复杂地质条件下的内的边坡、渗流场、应力场问题，而 PLAXIS 更多地是针对局部区域进行分析计算。

总体来讲，PLAXIS 与 PLAXIS LE 各有其功能特色。PLAXIS LE 弥补了 PLAXIS 在复杂地质结构的处理、分析模型大小及边坡分析方法上的不足，而同时，二者也可以相互配合使用。

2. PLAXIS 与 PLAXIS LE 在边坡工程中的协同应用

2.1 PLAXIS Designer 模块可作为 PLAXIS 的模型前处理工具

三维的边坡问题，经常涉及到复杂的地表及地层分布，分析模型中地质结构的精度影响着计算精度。

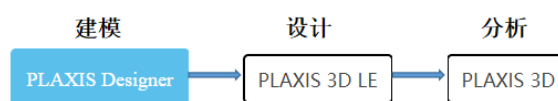
对于三维地表面的创建，PLAXIS 3D 中主要有两种方式，直接导入外部的面或导入外部的点云数据创建面，而通常边坡地表数据的记录形式是等高线，这意味着等高线数据与 PLAXIS 3D 之间需要利用中间媒介进行数据处理。

对于三维地层的创建，PLAXIS 3D 中主要基于钻孔。但更多的是为了创建一个便于分析计算的简单模型。在 PLAXIS 中无法大规模布置多个钻孔，且钻孔间的地层仅可以通过线性插值得到。土层分布较为简单的工程可以通过在 PLAXIS 中的土模式直接进行模型创建，如果工程岩土体涉及到复杂的三维地层分布问题，直接在 PLAXIS 中建模则略显困难。

PLAXIS 中边坡的几何模型创建问题，可以利用 PLAXIS Designer 进行模型的前处理：

- (1) PLAXIS Designer 中创建地表及地层模型导入 PLAXIS 3D。
- (2) PLAXIS Designer 中进行大范围的地层建模，再针对局部工程抽取局部地层导入 PLAXIS 3D。
- (3) 利用 PLAXIS Designer 创建土层模型，切断面导入 PLAXIS 2D 进行分析。
- (4) 利用 PLAXIS Designer 进行三维地层可视化，根据地层分布及物理力学特性简化后在 PLAXIS 3D 中建模。

2.2 Slope Stability 模块与 PLAXIS 联合分析边坡问题



PLAXIS LE 的 Slope Stability 模块与 PLAXIS 为边坡稳定性问题提供了完整的解决方案。前者基于极限平衡法，偏向于

设计，后者基于有限元理论，偏向于分析。而 PLAXIS LE 与 PLAXIS 中的不同的计算方法也可用于相互验证：

PLAXIS LE 中，用户可以直接基于规范方法对单一边坡进行稳定性的二维、三维极限平衡计算，并进行锚杆、土钉、支护桩等支护结构的设计，或利用三维极限平衡分析理论及三维滑移面搜索方法对区域边坡的稳定性做整体评估。

对于二维边坡剖面，PLAXIS LE 中的二维边坡模型可直接导入 PLAXIS 2D 中进行边坡的分析，对于三维边坡，可由 PLAXIS Designer 作为二者共同的模型前处理工具。

PLAXIS 中，用户可以基于有限元方法对边坡的多种特性进行细节性分析，包括：

- (1) 基于强度折减法的安全系数计算
- (2) 边坡开挖、回填过程中的应力场分布问题。
- (3) 施工过程中边坡的变形。
- (4) 完全的流固耦合分析
- (5) 各类支护结构与边坡土体之间的相互作用分析
- (6) 边坡与周边的环境要素的相互影响分析。

2.3 共同分析非饱和和边坡问题

对于非饱和土的分析，非饱和土水特征曲线（SWCC）的获取至关重要。在工程生产中，不同土体 SWCC 的估算主要依赖于参数数据库。PLAXIS 中提供了标准、Hypres、UDSA、Staring 四个参数数据库，各数据库基于 V-G 模型拟合 SWCC 曲线；而 PLAXIS LE 具有更强大的非饱和土数据库及 SWCC 的估算功能。在处理非饱和问题时，用户可以首选 PLAXIS LE 进行解决，涉及到必须使用 PLAXIS 的工程，用户可以利用 PLAXIS LE 中的非饱和数据库进行土体 SWCC 估算，再将 SWCC 导入 PLAXIS 进行分析。

3. PLAXIS 与 PLAXIS LE 对某公路边坡的协同分析案例

3.1 边坡概况

某三维公路边坡的 PLAXIS Designer 模型如图 1 所示。该边坡为一天然斜坡，坡体地层从上至下土层可分为 3 层，表层为残积粉质黏土，厚度约 0.5-2m，其顶、底面模型由工程测量数据和钻孔揭露的高程数据插值得到；表层以下为全风化岩，厚度 1-8m 不等，底面高程约为 4m，坡体底部为强-中风化岩，底面高程取-5m，坡体水位位于强-中风化岩体中，高程为-4m。各土层物理力学参数表见表 1。

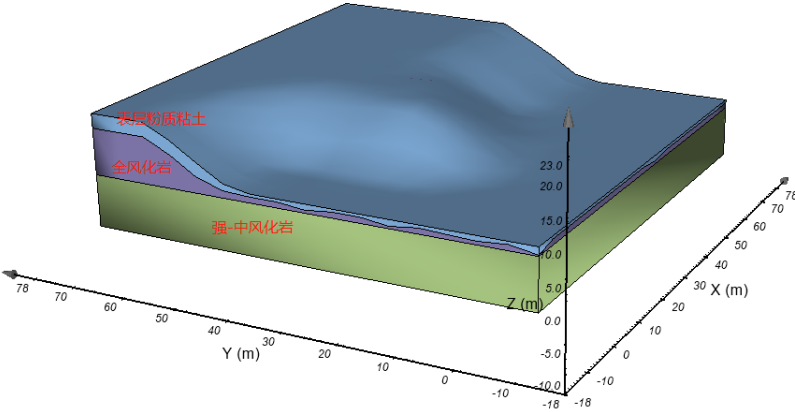


图 1 二维多平面分析

表 1 边坡土层物理力学参数表

土层名称	重度	c'	φ'	E(KN/m2)
粉质粘土	18.82	25	22	15000
全风化岩	18.82	19	14	12500
强-中风化岩	19.62	294	40	450000

3.2 PLAXIS LE 中的分析计算

首先计算边坡体天然状态下的安全系数。在 PLAXIS LE 中将 PLAXIS Desinger 中创建好的三维模型导入 Slope Stability 模块，指定边坡稳定性计算方法为 Bishop，分析方法为二维多平面分析，搜索方法为布谷鸟搜索，并沿坡体布置 40 个计算剖面，如图 2 所示。

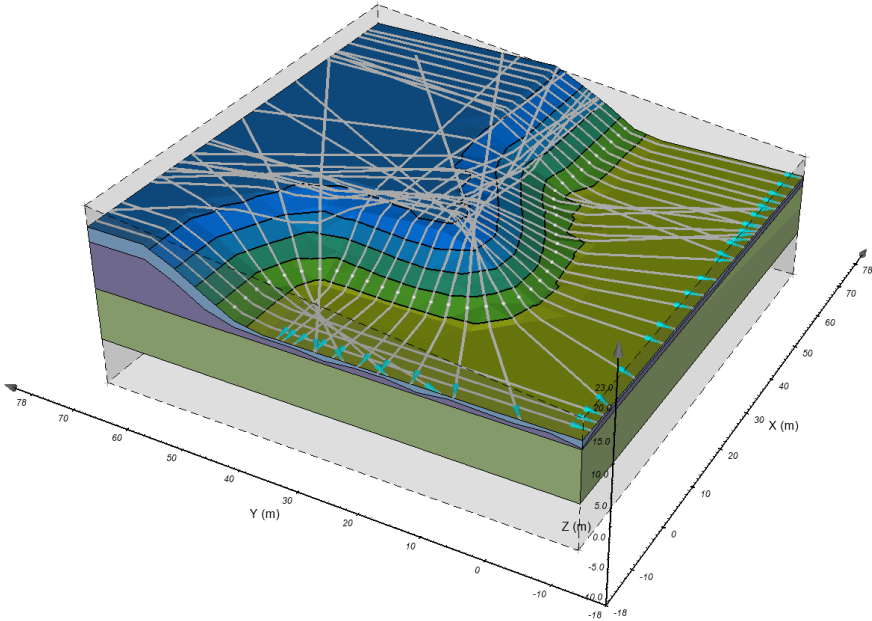


图 2 多平面分析模型

经计算，得到各计算剖面的安全系数结果如图 3 所示。天然状态下，边坡的安全系数数值整体在 1.25-1.6 范围内，整个边坡范围内中部偏左侧区域的安全系数偏小，整体在 1.25-1.3 范围内，坡体两侧安全系数整体较大，均在 1.4 以上。

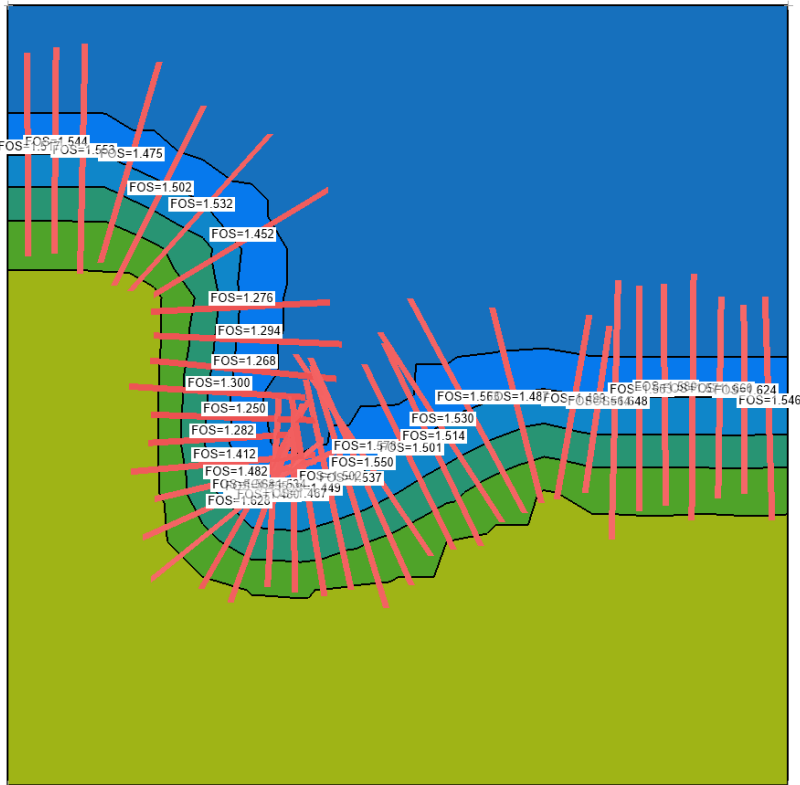


图 3 多平面分析结果

现对边坡采用土钉的支护方式，拟沿边坡布置两排土钉。PLAXIS LE 中可以非常方便地在三维模型中布置支护措施，用户只需框取土钉范围，并输入土钉竖直与水平间距、长度、倾角等参数，程序会自动地在三维模型上生成多排土钉。由于边坡左右两侧边界位置处的安全系数整体较大，为了提高计算效率，添加土钉后的多平面分析不再计算该部分区域的安全系数，计算剖面数量减少为 27 个（如图 4 所示）。

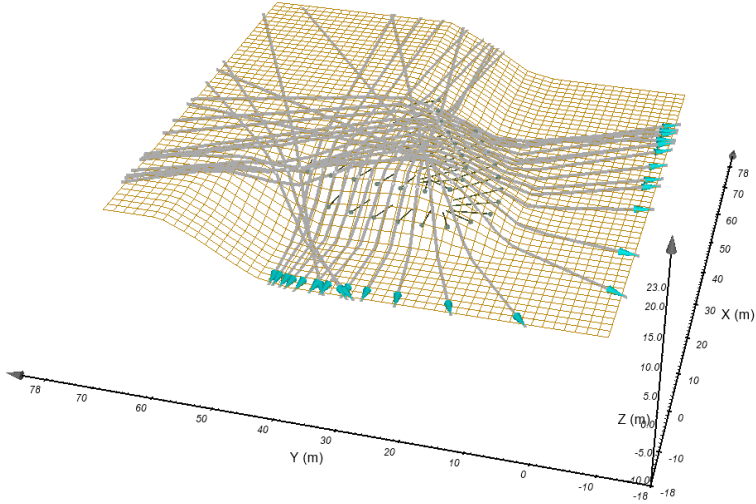


图 4 PLAXIS LE 中土钉布置

土钉添加后的边坡稳定性分析采取三维极限平衡算法，计算结果如图 5 所示。剖面范围内的安全系数整体提高，最小值依然位于边坡的中部偏左侧，具体数值达到 1.516，中部偏右侧的安全系数分布整体在 1.7-1.9 范围内。

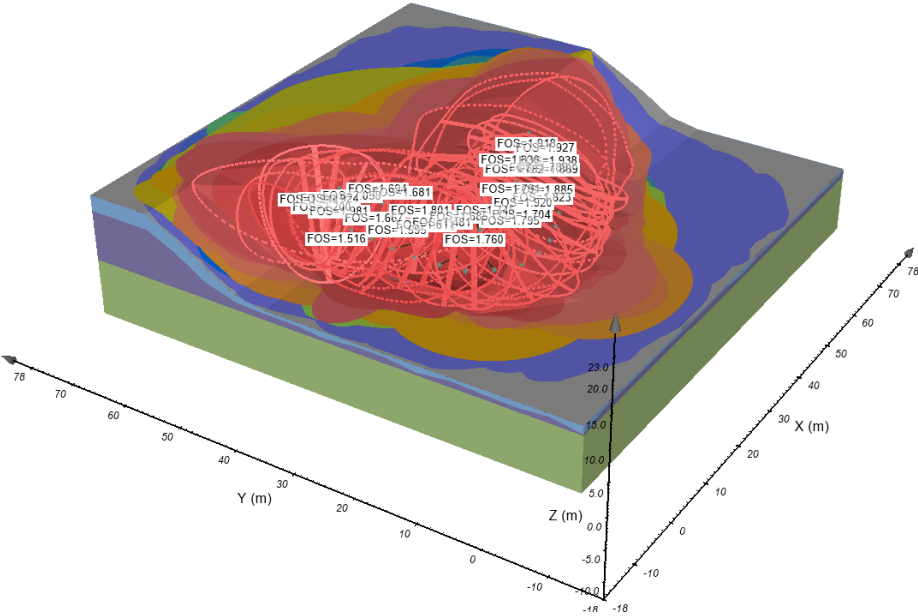


图 5 土钉加固后边坡的三维极限平衡计算结果

3.3 PLAXIS 中的分析计算

将 PLAXIS Designer 中边坡各地质界面导入 PLAXIS，在 PLAXIS 的结构模式中组装生成体模型；将 Slope Stability 模块中的土钉坐标导出，利用命令流的方式在 PLAXIS 中进行土钉的快速布置。几何模型和网格剖分结果见图 6。

在 PLAXIS 中利用有限元强度法计算边坡的潜在滑移面位置如图 7 所示，与极限平衡算法得到的结果基本一致。强度折减法得到的边坡安全系数为 1.372。

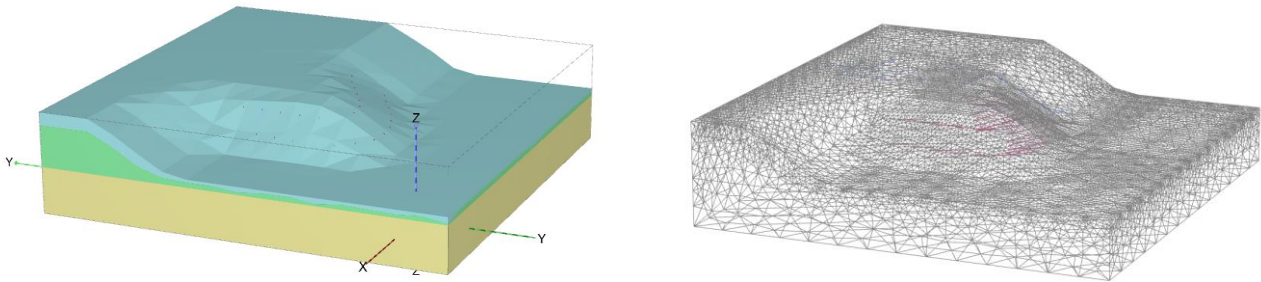


图 6 PLAXIS 中的几何模型及网格剖分结果

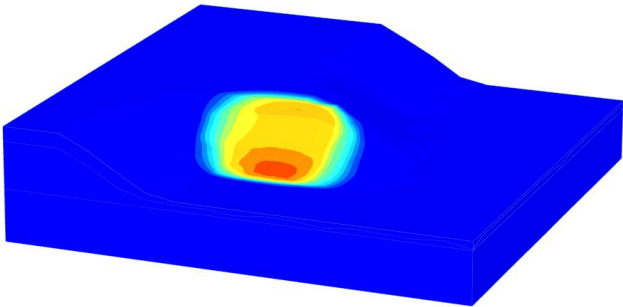


图 7 强度折减法得到的边坡潜在滑移面位置

随后，激活土钉，进行弹塑性变形计算并再次进行安全性分析，可以获取土钉的变形及轴力分布如图 8 所示。土钉施工后，强度折减法得到的边坡安全系数为 1.521。

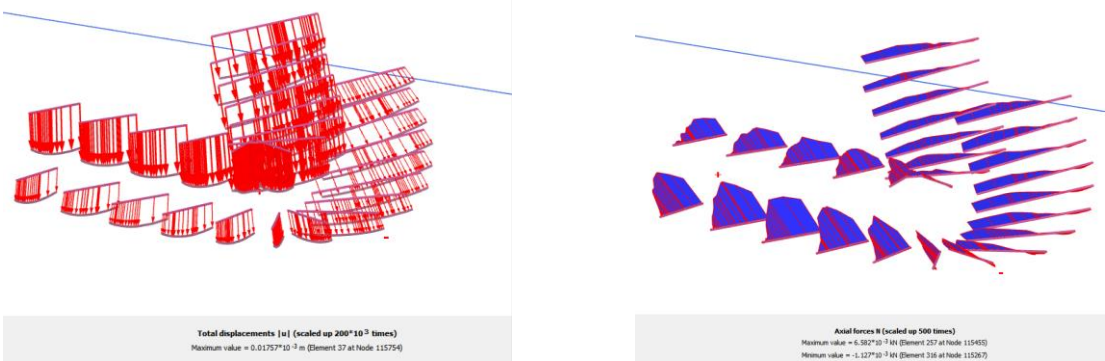


图 8 PLAXIS 中土钉计算结果

4、小结

PLAXIS 与 PLAXIS LE 具有各自的功能特色与优势点，PLAXIS 善于处理复杂的岩土体本构特性、土-结构相互作用、复杂施工过程等问题，而 PLAXIS LE 具有世界先进的极限平衡分析模块，可以解决复杂地质结构的模型创建、渗流、固结、动力问题。

对于边坡工程，PLAXIS LE 可用于边坡三维地质模型的创建及可视化、场地边坡体的二维、三维滑移面搜索及极限平衡计算，锚杆、土钉、微型桩等的设计；PLAXIS 可以用于处理边坡体内部岩体土与结构的应力、变形、相互作用问题；可以处理分析各类外部要素与边坡体本身的相互影响问题。二者相互配合，为边坡工程的设计与分析提供了完整的解决方案。

参考资料

[1] PLAXIS CE V21 Reference Manual, Bentley Systems Team,(2021).
 [1] PLAXIS LE SlopeStability_Theory_Manual, Bentley Systems Team,(2021).

工程应用常见问题 案例解析

【温馨提示】“工程应用常见问题案例解析”专栏基于工程案例阐释软件应用的常见问题及解决方法，希望为遇到类似问题的工程师提供参考。本栏目中的所有案例均来自筑信达软件用户，软件模型归属设计单位，相关内容仅用于软件应用技术的探讨。如有不妥，请联系我们删除。

异形面单元导致的异常

本案例主要介绍模型中的异形面单元可能导致的问题与处理办法。



使用软件/SOFTWARE

SAP2000 V23.1.0



模型简介/MODEL

某空间结构如图 1 所示，结构表面采用零厚度的膜单元施加风荷载。

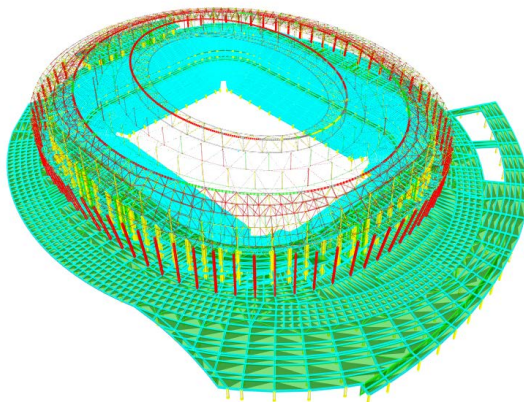


图 1



问题描述/PROBLEM

运行模态分析后发现结构周期异常，如图 2 所示。且与第三方软件对比结构基底反力结果，发现该模型存在荷载丢失的情况。其原因和解决办法是什么？

单位：见注释
过滤器：

Modal Participating Mass Ratios

OutputCase	StepType Text	StepNum Unitless	Period Sec	UX Unitless	UY Unitless	UZ Unitless
MODAL	Mode	1	857242339	0	0	0
MODAL	Mode	2	40198286	0	0	1.769E-19
MODAL	Mode	3	10820828.33	0	0	0.0001198
MODAL	Mode	4	9966535.47	0	0	3.527E-08

图 2

解决办法/SOLUTION

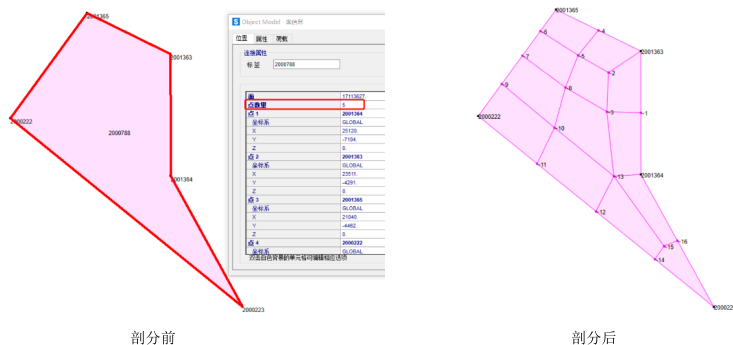
点击【分析】>【设置分析选项】，将 SAPFire 高级选项中的求解器调整为**标准求解器**，再次运行分析，并通过分析菜单下的运行日志定位模型具体问题。可以发现模型中有大量关于有限元节点的数值问题，图 3 为部分警告信息：

*** WARNING ***						
NUMERICAL PROBLEMS ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION:						
TYPE	LABEL	DOF	X-COORD	Y-COORD	Z-COORD	PROBLEM
Joint	~16	RY	26808.000	-8131.000	.000000	Diag = 0 --> 1.00E-10
Joint	~14	RY	26537.250	-8847.750	.000000	Lost accuracy 15.7 digits
Joint	~14	RY	26537.250	-8847.750	.000000	Diagonal < 0 -3.94E-31
Joint	~12	RY	24578.500	-8537.500	.000000	Diag = 0 --> 1.00E-10

图 3

通过显示分析模型和定位节点坐标，可以发现程序对异形膜单元进行了自动剖分。这是因为从有限单元法的角度讲，面单元只有三角形和四边形两种形状。因此，对于边数 ≥ 5 的多边形，即使不指定剖分，SAP2000 在运行分析的过程中也会强制进行自动剖分，生成三角形或四边形单元以完成分析，如图 4(a)。此外，程序对面单元形状也有一定的要求（更详尽的内容请参考程序自带的《CSI 分析参考手册》第十章的单元形状指导），比如每一角点的内角度必须小于 180° ，对于不满足要求的单元，程序也会强制进行自动剖分，如图 4(b)。

面单元剖分后，荷载和质量凝聚在对象节点和剖分点处，由于膜单元无面外刚度，内部剖分点在荷载作用下便会产生局部振动，造成周期异常，并丢失相应荷载。



(a) 五边形面



(b) 异形四边形面

图 4

这种异形面对象常常存在于转换模型中，建模时应避免这种情况，或将其手动处理为合理的单元形状，从而规避异形面单元导致的周期异常和荷载丢失的问题。

反应谱工况的结果查看

本案例主要介绍查看反应谱工况结果的常见问题。

使用软件/SOFTWARE

ETABS V19.0.2

模型简介/MODEL

该模型为框剪结构，分为 A、B 两个塔，分别指定了刚性隔板，如图 1 所示。

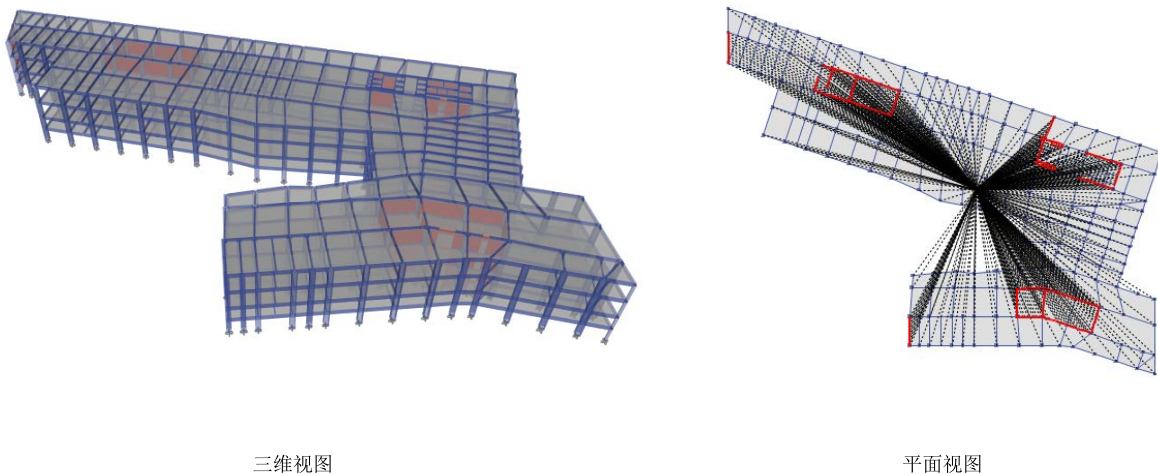


图 1

问题描述/PROBLEM

查看反应谱工况下的结果时遇到一些疑问，具体如下：

1. 如图 2，查看变形图，发现刚性隔板范围内各节点明显存在面内相对位移，不符合刚性隔板假定，原因是什么？
2. 如图 3，杆件的弯矩为什么只有正值？
3. 如图 4，“对墙肢指定不同的墙肢标签”和“将某层墙体指定为同一墙肢标签”，两种做法统计的墙肢内力之和并不相等，为什么？

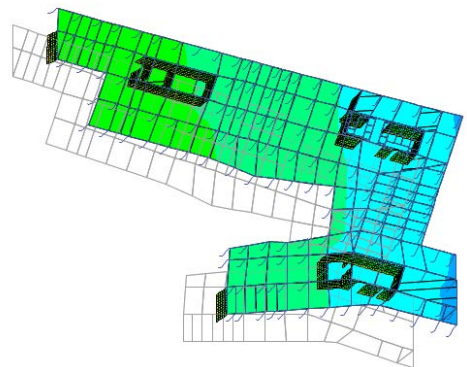


图 2 变形图

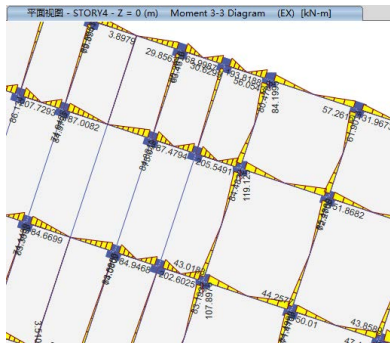


图 3 框架弯矩图

TABLE: Pier Forces									
Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P kN	V2 kN	V3 kN	
L21	P49	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	43.5257	39.0081	0.9746	
L21	P50	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	62.9239	74.3043	0.9255	
L21	P51	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	148.0879	77.5339	5.9337	
L21	P52	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	439.2551	309.4445	1.3004	
L21	P53	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	411.9271	277.3307	3.142	
L21	P54	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	104.3411	467.0752	0.2628	
					合力	34647.04	20233.063	473.5835	

(a) 对某层墙肢分别指定不同的墙肢标签

TABLE: Pier Forces									
Story	Pier	Output Case	Case Type	Step Type	Location	P kN	V2 kN	V3 kN	
L21	P1	EX	LinRespSpec	Max	Bottom	4138.0358	7973.8903	5157.1345	

(b) 将某层墙体指定为同一墙肢标签

图 4 墙肢内力

解决办法/SOLUTION

上述问题均由振形分解反应谱法本身的特点所致。对于反应谱分析，所有的输出结果都是振型组合值，具体分两步：先计算各振型下相应的物理量，如点位移、构件内力；再对各物理量进行振型组合，得到峰值响应。所以反应谱工况的结果始终是正值。

1. 反应谱工况下经过振型组合得到的变形图是不真实的。用户可以查看规定水平力下的变形（图 5），可以看见该变形符合预期。
2. 由于振型组合后输出的都是峰值响应，所有结果均为正值，地震作用的正负号将在荷载组合中考虑。以某柱子含反应谱工况的设计内力 Comb1 为例，如图 6，程序自动考虑了（±P，±M2，±M3）可能存在的 8 种组合情况。

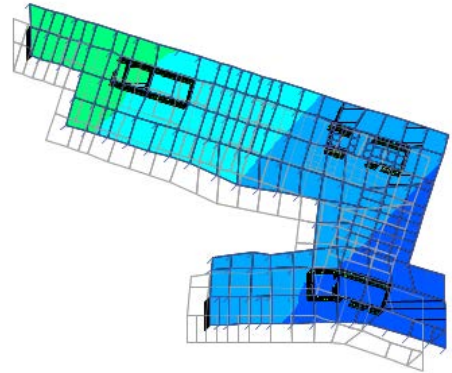


图 5 变形图

Column	UniqueName	Combo	Station m	P kN	V2 kN	V3 kN	T kN-m	M2 kN-m	M3 kN-m
C247	5603	Comb1-1	0	182.9073	3.0417	9.9194	0.6671	25.2518	10.3487
C247	5603	Comb1-2	0	182.9073	-3.0417	9.9194	0.6671	-25.2518	10.3487
C247	5603	Comb1-3	0	182.9073	3.0417	-9.9194	0.6671	25.2518	-10.3487
C247	5603	Comb1-4	0	182.9073	-3.0417	-9.9194	0.6671	-25.2518	-10.3487
C247	5603	Comb1-5	0	-182.9073	3.0417	9.9194	-0.6671	25.2518	10.3487
C247	5603	Comb1-6	0	-182.9073	-3.0417	9.9194	-0.6671	-25.2518	10.3487
C247	5603	Comb1-7	0	-182.9073	3.0417	-9.9194	-0.6671	25.2518	-10.3487
C247	5603	Comb1-8	0	-182.9073	-3.0417	-9.9194	-0.6671	-25.2518	-10.3487

图 6 柱设计内力

3. 首先，反应谱工况下不同墙肢的内力不能简单地进行线性叠加，该做法没有任何物理意义；其次，各墙肢的内力输出均基于局部轴方向，求合力时需注意根据内力方向考虑力的合成与分解。因此，若查看规定水平力或底部剪力法的地震内力结果，考虑内力合成与分解，这两种方式可以得到一致的结果。

编写：刘慧璇

多塔结构结果输出异常

本案例主要介绍由于塔定义不完整而导致楼层刚度 Story Stiffness 等结果无法输出。



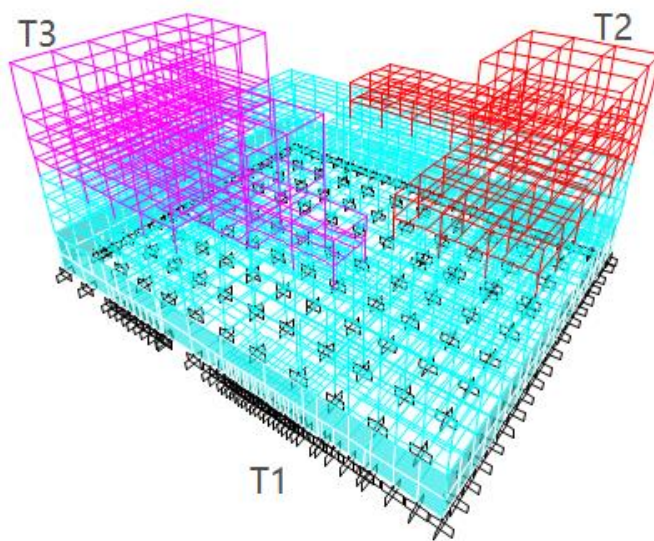
使用软件/SOFTWARE

ETABS V19.0.2



模型简介/MODEL

某多塔模型，由三个塔构成，如下图所示。



问题描述/PROBLEM

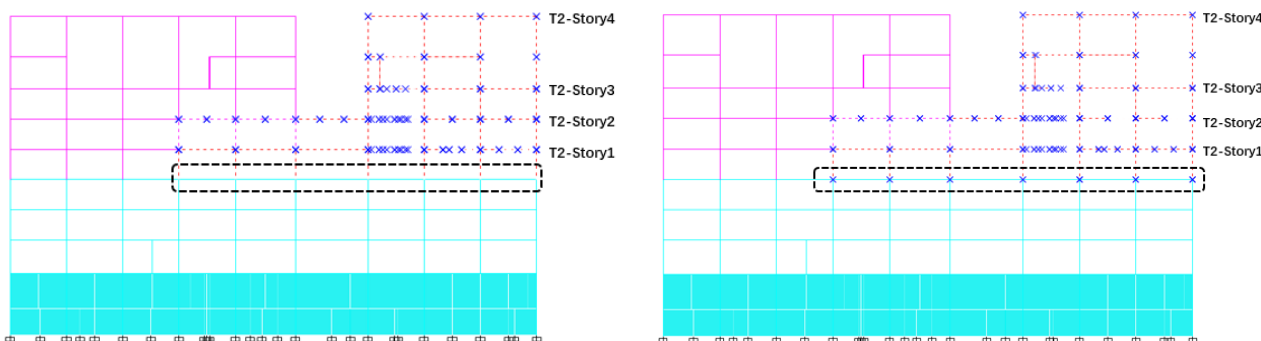
塔 T2 和塔 T3 通过【显示>显示表格】可正常输出各层的楼层剪力，而 T2-Story1 与 T3-Story1 的位移角、楼层刚度输出数值为 0，如下表所示。

Story Stiffness									
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Shear X kN	Drift X mm	Stiff Xh kN	Shear Y kN	Drift Y mm	Stiff Yh kN
T1-STORY5	EX	LinRespSpec		5067.8404	1.907	11961248	1060.6574	0.425	11243609
T1-STORY4	EX	LinRespSpec		5887.5125	2.267	11685770	1239.6553	0.624	8934191.2146
T1-STORY3	EX	LinRespSpec		6187.4637	1.729	18075877	1304.7368	0.544	12119151
T1-STORY2	EX	LinRespSpec		6232.7238	0.066	492253982	1313.0452	0.013	540288192
T1-STORY1	EX	LinRespSpec		6243.096	0.032	788055975	1314.9555	0.006	820284342
T2-Story4	EX	LinRespSpec		165.6721	4.401	406559.7393	43.7781	1.731	273121.2826
T2-Story3	EX	LinRespSpec		564.6006	1.063	2415881.8609	184.9423	0.427	1972342.8319
T2-Story2	EX	LinRespSpec		1347.3724	1.121	5410848.3232	444.7512	0.439	4554627.4873
T2-Story1	EX	LinRespSpec		1833.0145	0	0	597.5456	0	0
T3-Story4	EX	LinRespSpec		251.5128	3.811	712841.1778	62.9435	0.982	692142.9021
T3-Story3	EX	LinRespSpec		1049.114	0.881	5417721.2253	242.2741	0.234	4718303.9016
T3-Story2	EX	LinRespSpec		1685.8512	1.228	6175479.641	379.1731	0.332	5142865.8938
T3-Story1	EX	LinRespSpec		2160.5281	0	0	470.1615	0	0
T1-STORY5	EY	LinRespSpec		1046.7035	0.685	6879904.8028	4912.3972	1.212	18234092

解决办法/SOLUTION

楼层刚度由楼层剪力和层间位移或位移角计算得到，而计算层间位移需要获取该楼层柱子上下节点的平动位移值。从以上的分析过程，我们可以推测原模型的 T2 和 T3 在 Story1 层的柱底节点未指定到各塔内，检查发现果然如此。以 T2 为例，选中 T2 所有构件，发现 Story1 层底部节点未包括在结构中，如下图左侧。

现将 T2-Story1 层的柱底节点指定到塔 T2 内，如下图右侧所示。T3 同理进行修改。



修改后，T2-Story1、T3-Story1 层刚度、位移数据均可正常输出。

E Story Stiffness

File Edit Format-Filter-Sort Select Options

Units: As Noted Hidden Columns: No Sort: None Story Stiffness

Filter: None

	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Shear X kN	Drift X mm	Stiff Xh kN	Shear Y kN	Drift Y mm	Stiff Yh kN
▶	T1-STORY5	EX	LinRespSpec		5067.8398	1.907	11961238	1060.5899	0.425	11225778
	T1-STORY4	EX	LinRespSpec		5887.5283	2.267	11685782	1239.5801	0.624	8934226.115
	T1-STORY3	EX	LinRespSpec		6187.4919	1.729	18076074	1304.6599	0.544	12119157
	T1-STORY2	EX	LinRespSpec		6232.7543	0.066	492254643	1312.968	0.013	540288874
	T1-STORY1	EX	LinRespSpec		6243.1271	0.032	788057417	1314.8782	0.006	820284264
	T2-Story4	EX	LinRespSpec		165.6365	4.399	406673.2443	43.7846	1.732	273076.0703
	T2-Story3	EX	LinRespSpec		564.5837	1.063	2415815.2873	184.9232	0.427	1971783.1858
	T2-Story2	EX	LinRespSpec		1347.4667	1.121	5410749.5497	444.6582	0.439	4553780.5488
	T2-Story1	EX	LinRespSpec		1833.0811	1.439	5733880.6853	597.4631	0.522	5154810.1385
	T3-Story4	EX	LinRespSpec		251.596	3.812	712871.1584	62.8478	0.981	692018.8186
	T3-Story3	EX	LinRespSpec		1049.0525	0.881	5417684.098	242.1964	0.234	4718672.3751
	T3-Story2	EX	LinRespSpec		1685.7885	1.228	6175645.4417	379.0973	0.332	5143083.188
	T3-Story1	EX	LinRespSpec		2160.5017	1.675	5805442.2471	470.0949	0.363	5831522.3042
	T1-STORY5	EY	LinRespSpec		1046.6389	0.684	6880808.3848	4912.4435	1.212	18235652

编写：杨硕

嵌套组合的误用

本案例主要介绍嵌套组合对设计结果的影响。



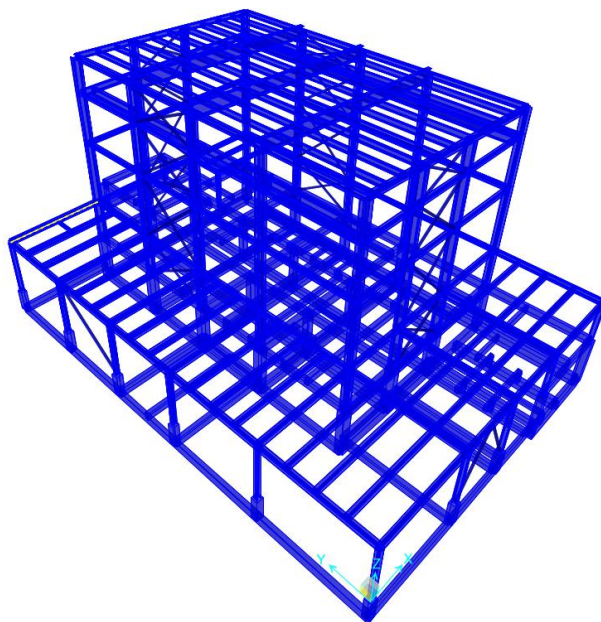
使用软件/SOFTWARE

SAP2000V22.2.0



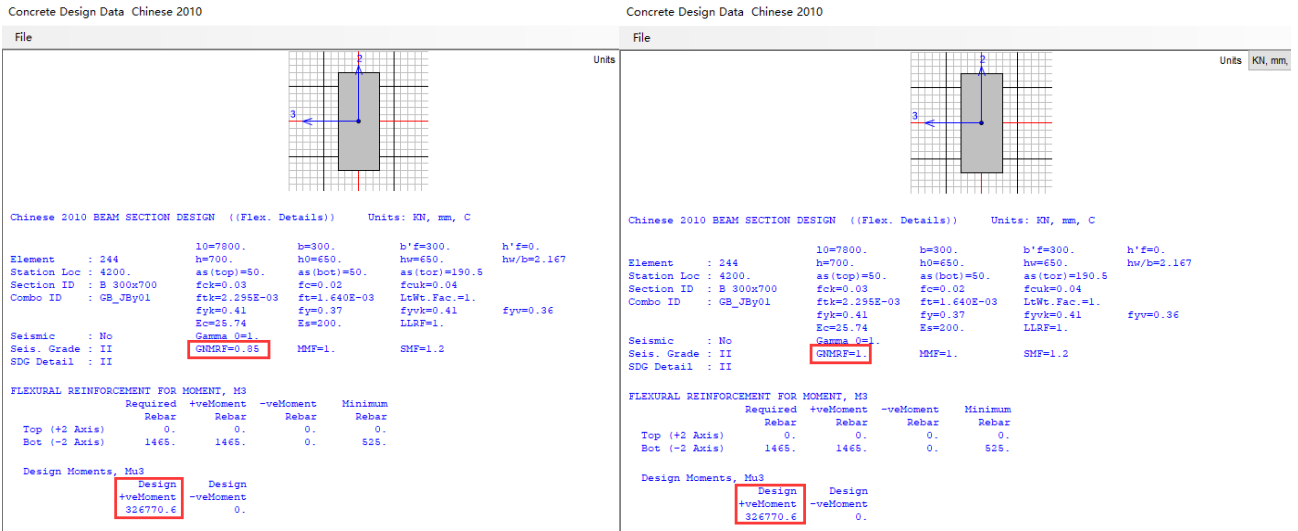
模型简介/MODEL

混凝土框架结构如下所示。



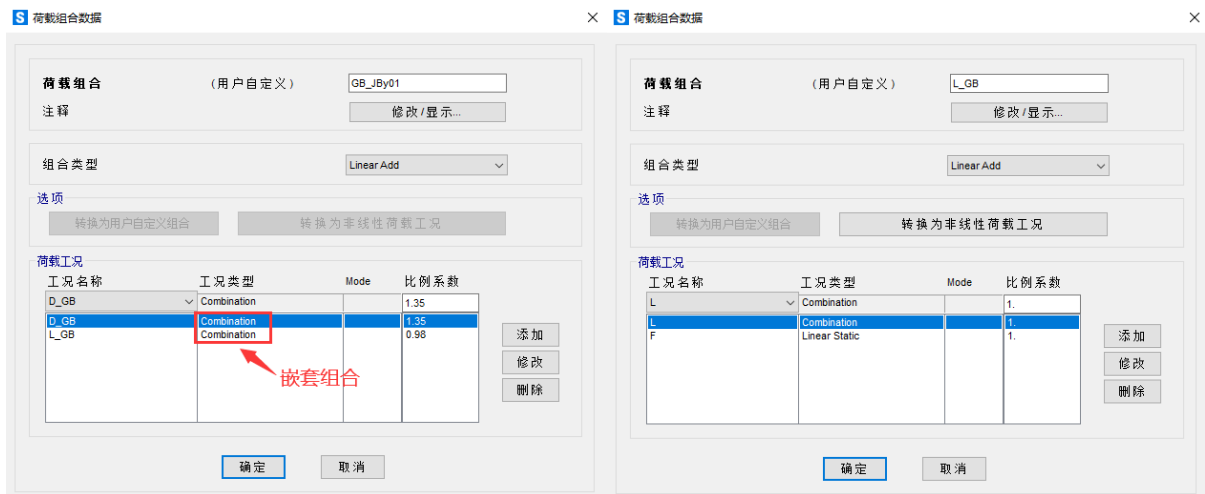
问题描述/PROBLEM

对该框架中某根梁进行设计时，发现设计覆盖项【梁的重力负弯矩折减系数】值为分别 1.0 和 0.85 时，设计结果无变化，设计内力也无变化。



解决办法/SOLUTION

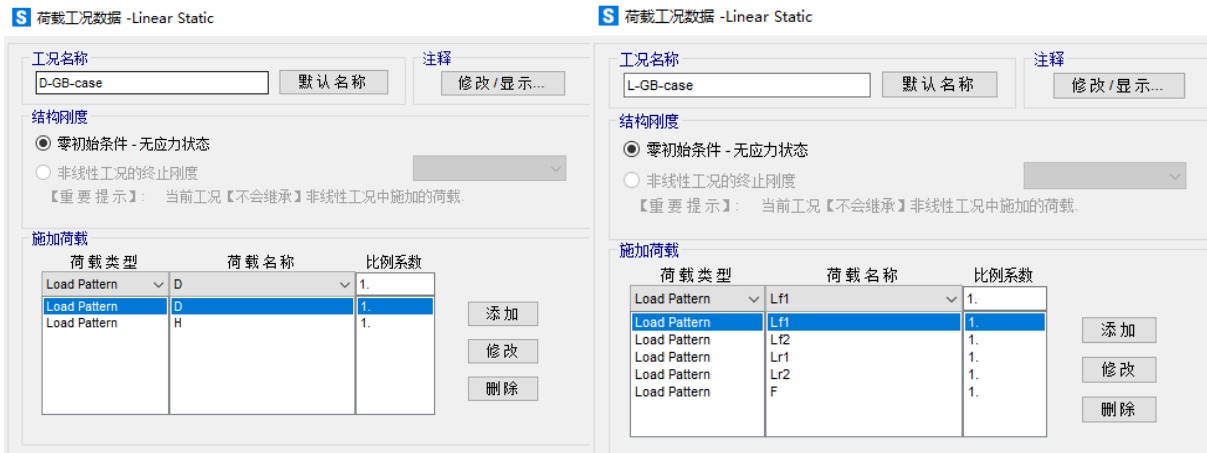
该问题是由设计组合存在嵌套组合造成，嵌套组合甚至可能是多层嵌套，本例中嵌套组合如下图所示：



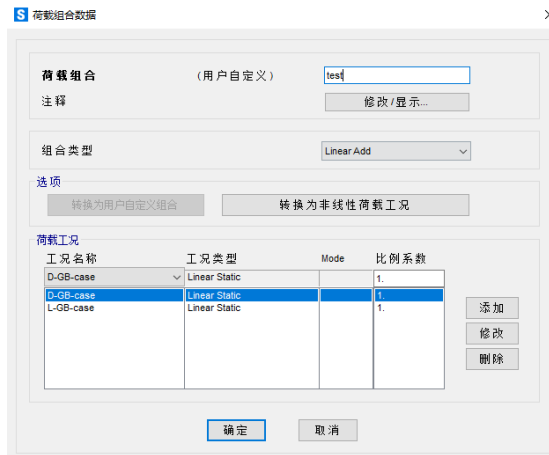
SAP2000 在判断荷载组合类型时，是通过荷载工况进行判断的。如本例中，当组合中存在重力工况（恒载或活载工况）时，程序会对重力工况的效应进行折减，重力工况的判断又是通过荷载模式的类型进一步判断。而本例中程序在对荷载组合进行判断是发现，荷载组合中只有荷载组合而没有重力工况，因此认为当前组合不需要考虑梁的重力负弯矩折减系数。因此，建议用户尽量减少使用嵌套组合。目前发现嵌套组合可能导致的设计问题还有：无法判别当前组合是地震组合、设计组合内力计算出错、包络组合嵌套包络组合导致设计内力异常等等。

解决类似问题可以通过在荷载工况中进行初步叠加，然后再进行荷载组合，保证组合中仅含有工况。本案例可以按如下方式进行修改。

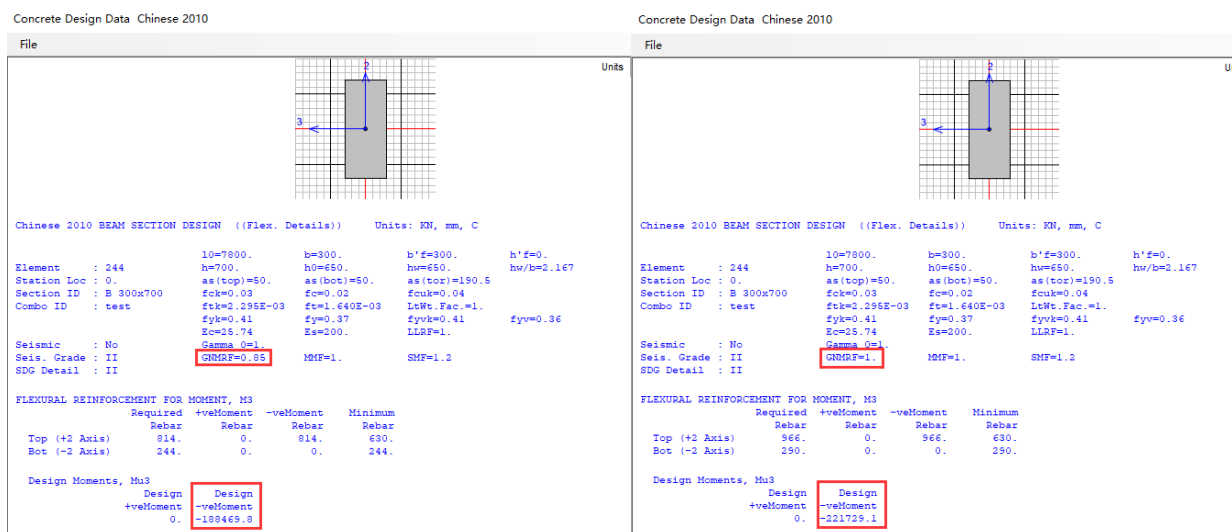
工况定义——



荷载组合定义——



修改后设计结果正常，如下图。



编写：吴文博

精度丢失产生的原因

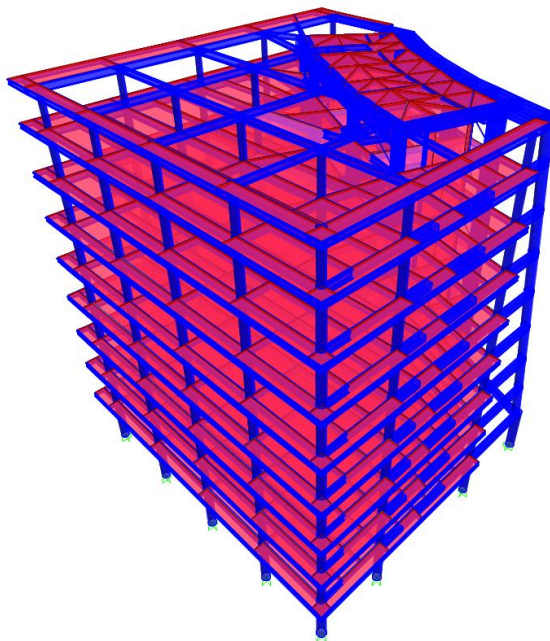
本案例主要介绍精度丢失的基本概念。

使用软件/SOFTWARE

SAP2000 V22.2.0

模型简介/MODEL

该模型为多塔结构，模型为其中一个塔。



问题描述/PROBLEM

计算模型出现如下警告，请问这个是什么意思，该如何解决？

```
*** WARNING ***
NUMERICAL PROBLEMS ENCOUNTERED DURING EQUATION SOLUTION:

TYPE LABEL DOF X-COORD Y-COORD Z-COORD PROBLEM VALUE
-----
Joint NewP147 UY -61100.640 18534.673 11100.000 Lost accuracy 6.0 digits
Joint NewP251 UY -61100.640 18534.673 16200.000 Lost accuracy 6.0 digits
Joint NewP355 UY -61100.640 18534.673 21300.000 Lost accuracy 6.1 digits
Joint NewP459 UY -61100.640 18534.673 26400.000 Lost accuracy 6.1 digits
Joint NewP563 UY -61100.640 18534.673 31500.000 Lost accuracy 6.1 digits
Joint NewP667 UY -61100.640 18534.673 36600.000 Lost accuracy 6.1 digits
Joint NewP771 UY -61100.640 18534.673 41700.000 Lost accuracy 6.0 digits

-----
BASIC STABILITY CHECK FOR LINEAR LOAD CASES:
NUMBER OF NEGATIVE STIFFNESS EIGENVALUES SHOULD BE ZERO FOR STABILITY.
(NOTE: FURTHER CHECKS SHOULD BE CONSIDERED AS DEEMED NECESSARY,
SUCH AS REVIEWING EIGEN MODES FOR MECHANISMS AND RIGID-BODY MOTION)
```




解决办法/SOLUTION

问题中的警告为精度丢失，是计算机在计算中舍入造成的。威尔逊教授在《结构三维静力与动力分析》（中文版第三部）一书中第 7 章介绍了这样一个小例子：

在许多情况下，我们所称的刚性单元的相对刚性是相邻柔性单元刚度的 10 到 1,000 倍。正常情况下，使用这些实际数值在结构的计算机模型分析中不会引起数值问题。然而，如果使用相对数值 10^{20} ，由于出现所谓舍位误差，可能会得不到解。

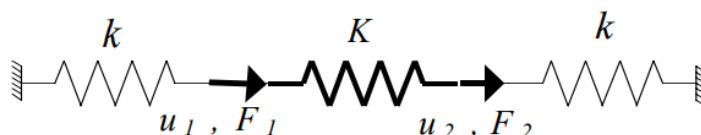


图 7.1 解释数值问题的范例

对于该简单结构的平衡方程，可使用矩阵形式写成：

$$\begin{bmatrix} K+k & -K \\ -K & K+k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}$$

大多数的结构分析程序是以双精度写成，刚度项可近似 15 位有效数字，范围可在 $10E-308$ 到 $10E+308$ 内。因此，如果刚性单元的刚度是 $K=10^{20}k$ ， $K+k$ 项将被舍位至 K ，得出的平衡方程是奇异的并且是不能求解。如果 $K=10^{12}k$ ，将失去近似 12 个有效数字，而解的准确程度只剩近似三个有效数字。（例如 $1234567890001+1.23456789001=1234567890002.23$ ，而不是 $1234567890002.23456789001$ ）

CSI 曾给出以下建议：当精度丢失位数小于 6 时，程序不会给出警告，此时结果足够精确；当精度丢失位数大于 6 小于 11 时，一般情况下计算精度仍然足够，但是建议检查程序的分析结果是否存在明显异常后再进行判断；当精度丢失位数大于 11 时，建议检查模型。

目前处理类似的警告只能通过查找相关节点处的构件是否存在人为刚度放大的情况，例如刚性杆，如果存在人为设置的大刚度杆件，尽量通过节点约束来替代刚性杆的作用。

更详细的阐述请见知识库：[精度丢失和病态](#)。

编写：吴文博

复杂基坑模型的网格划分

本案例为某复杂基坑开挖对既有铁路影响分析的案例，主要展示几何模型在进入网格模式时出现“参数化交叉失败”提示的处理思路。

使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 3D CE V20

模型简介/MODEL

模型如图 1 所示，长宽约 400×100m，土层厚度约 40m，模型要素包含铁路及基坑，其中基坑由多个子基坑组成，主要的支护方式为桩-撑体系，铁路包含了桩基础及简化的上部结构。

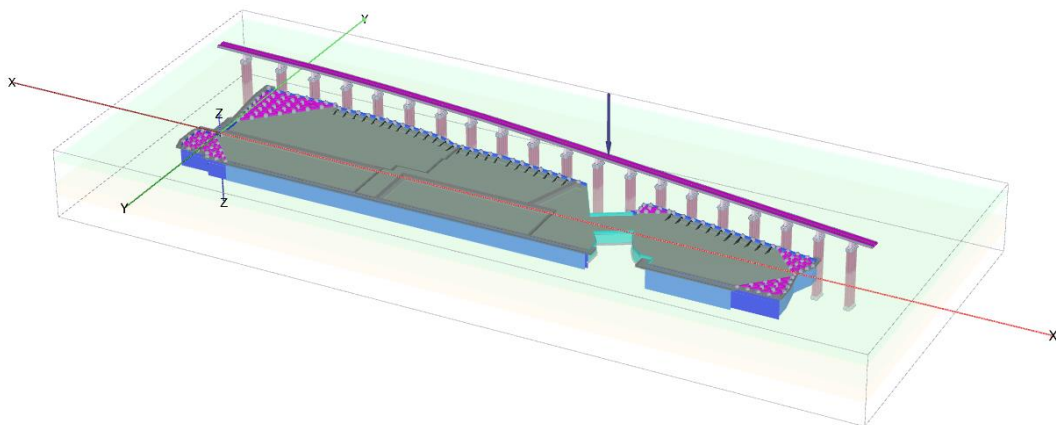


图 1 几何模型图

问题描述/PROBLEM

创建完几何模型进入网格模式时，出现如下错误提示：

```
!!!!> _gotomesh  
Intersection failed with this error: TriangulationFail  
The following objects are producing non valid shapes: BoreholeVolume_2
```

图 2 错误提示

解决办法/SOLUTION

该问题可以称之为参数化交叉问题，主要由几何对象本身的几何特性和几何对象之间的相对位置导致。出现参数化交叉错误提示时，通常需要通过逐步检查、修改几何对象来对模型进行调整。

首先，输入 `checkgeometry 0.1` 命令，查询模型中距离在 0.1m 之内的几何对象，如图 3，共发现 78 组。此外，还发现对象 `polygon_15` 包含小的内部距离。

67.	Point_228	Line_130	7.051553854123168E-5
68.	Point_232	Line_152	0.00012866141996851994
69.	Point_246	Line_167	9.6016594632365709E-5
70.	Point_250	Line_131	6.4330537454333619E-5
71.	Point_258	Line_130	4.7010359034190221E-5
72.	Point_265	Line_131	0.0003677932084308352
73.	Point_271	Line_130	2.3476440057232784E-5
74.	Point_275	Surface_3	7.5408713589789594E-5
75.	Point_281	Surface_3	7.5408713588909005E-5
76.	Point_285	Surface_3	7.837632244722906E-5
77.	Point_289	Surface_3	7.5408713588862349E-5
78.	Point_292	Surface_3	9.5126356313272346E-5
发现小内部距离: 1			
1.	Polygon_15		0.0013246004378029141

图3 检查相邻对象

检查 polygon_15，如图 4，发现该面是一个虚面，无实际意义。将其删除。

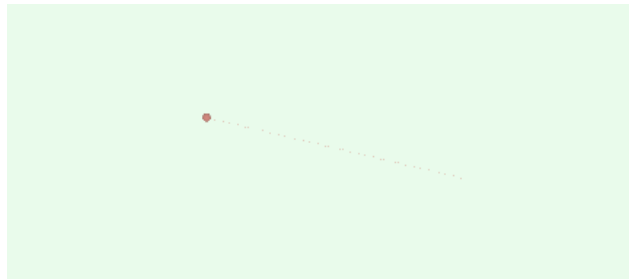


图4 对象 polygon_15

接下来，解决 78 组几何对象间距的问题。我们发现图 3 中显示有较多的点和线之间的过近距离，由于线由两点控制其位置，点和线之间的距离往往是由重复的点对象导致的，可通过合并相同对象功能，将重复的点对象合并。

合并完再次检查几何图形，发现此时仍有 77 组相邻对象，部分点和线之间仍存在间隙。

54.	Point_164	Line_29	1.1308381565651955E-10
55.	Point_170	Line_81	6.3633819330469082E-13
56.	Point_172	Line_29	6.3934015624497382E-10
57.	Point_175	Line_97	7.4611216555981965E-13
58.	Point_178	Line_81	5.1385861639092704E-13
59.	Point_180	Line_29	1.0703488510996563E-9
60.	Point_193	Line_130	0.00011738862342527962
61.	Point_195	Line_100	1.2922211577833226E-12
62.	Point_196	Line_130	9.4020718053292378E-5
63.	Point_200	Line_130	0.00014108108214097779
64.	Point_203	Line_131	0.00012866107499408026
65.	Point_218	Line_131	9.6495806225463014E-5
66.	Point_228	Line_130	7.051553854123168E-5
67.	Point_232	Line_152	0.00012866141996851994
68.	Point_246	Line_167	9.6016594632365709E-5
69.	Point_250	Line_131	6.4330537454333619E-5
70.	Point_258	Line_130	4.7010359034190221E-5
71.	Point_265	Line_131	0.0003677932084308352
72.	Point_271	Line_130	2.3476440057232784E-5
73.	Point_275	Surface_3	7.5408713589789594E-5
74.	Point_281	Surface_3	7.5408713588909005E-5
75.	Point_285	Surface_3	7.837632244722906E-5
76.	Point_289	Surface_3	7.5408713588862349E-5
77.	Point_292	Surface_3	9.5126356313272346E-5

图5 第二次检查几何图形

查看典型的相邻对象，发现存在间隙的点和线主要位于内支撑上的多条线交叉的位置。

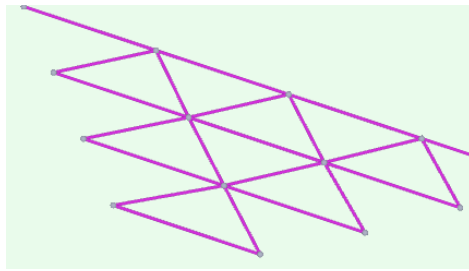


图 6 典型点和线组合图

首先，为了避免该支撑上的点可能不在一个平面上（Z 坐标不同），选中支撑上所有点，统一其 Z 坐标。随后通过 `snap points lines` 命令，将点捕捉到线上。

此时再次检查相邻对象（如图 7），发现还有 56 对儿。且主要为面和面、点和面之间的距离过近问题。其中，出现最多的是对象 `surface_3`。

查看 `surface_3` 对象为基坑围护结构面，该面通常由基坑轮廓线拉伸而成，现将该面删除重新拉伸。

39.	Surface_248	Polygon_17	6.0582270384313126E-5
40.	Surface_252	Surface_250	4.4439717719675846E-6
41.	Surface_254	底板2	0.00013748284879034302
42.	Volume_4	Surface_3	7.540871361281815E-5
43.	底板1	底板2	1.7457931164700864E-5
44.	底板3	底板4	9.8154338161293709E-5
45.	Point_15	Surface_3	7.5408713588028429E-5
46.	Point_24	Surface_240	1.6925011997104778E-12
47.	Point_25	Surface_240	1.2394898192040581E-12
48.	Point_49	Surface_3	7.5408713589349299E-5
49.	Point_51	Surface_3	0.00017653068202212445
50.	Point_108	Surface_240	1.380836109882485E-12
51.	Point_265	Line_164	0.00021911645346081494
52.	Point_275	Surface_3	7.5408713589789594E-5
53.	Point_281	Surface_3	7.5408713588909005E-5
54.	Point_285	Surface_3	7.8376322244722906E-5
55.	Point_289	Surface_3	7.5408713588862349E-5
56.	Point_292	Surface_3	9.51263956313272346E-5

图 7 第三次检查几何图形

再次检查，还剩 12 组相邻对象，且均为面对象。面对象可以通过捕捉来调整整体位置，但无法通过捕捉功能来调整形状，所以面对象如果建模出现问题，最好依次检查其形状及与其它几何对象相对位置。

1.	LoftedSurface_1	Surface_241	2.6939819380038643E-6
2.	LoftedSurface_3	Surface_252	0.01127709293466529
3.	Polygon_1	Polygon_10	0.00029315520180972499
4.	Polygon_3	Surface_9	0.00029372156166829197
5.	Polygon_8	Surface_28	0.00029315519793016166
6.	Polygon_11	Surface_6	6.1753967624116698E-6
7.	Polygon_12	Surface_2	1.7630140471407248E-5
8.	Polygon_13	Surface_6	6.1753967624116698E-6
9.	Polygon_14	Polygon_17	0.00029315527448911872
10.	Polygon_16	Surface_245	6.1753967622133926E-6
11.	Polygon_18	Surface_241	2.6197649727499984E-6
12.	Surface_5	Surface_237	0.00012114378938682691

图 8 第四次检查几何图形

依次检查调整后，直至程序提示未找到相邻几何对象，则说明现几何模型满足精度要求。

```
checkgeometry 0.1
正在最大距离范围内进行检查: 0.1
未找到相邻几何对象
```

对于这类几何模型的检查与修正，推荐用户使用 `checkgeometry` 命令逐次检查修正。在调整顺序上，先调整点、线，再去调整面与体。值得一提的是，对于对象数量多、较为复杂的模型，完全创建完模型以后再检查调整往往费时费力，用户应养成随时检查的习惯，在保证既有几何模型精确以后，再进行下一步建模，可大大节省时间，提高模型创建效率。

编写：郭晓通

某基坑模型荷载进程失败

本案例为一基坑开挖对周边隧道影响分析案例，主要展示模型计算过程中出现的荷载进程失败提示及基坑降水设置有误的解决办法。

使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 2D CE V20

模型简介/MODEL

如图 1 所示，模型长宽 150m×30m，右侧为既有隧道，左侧为当前开挖的基坑，模型整体地下水位接近地表，基坑在开挖面右侧采用三轴搅拌桩止水，采用放坡+土钉的加固方式。

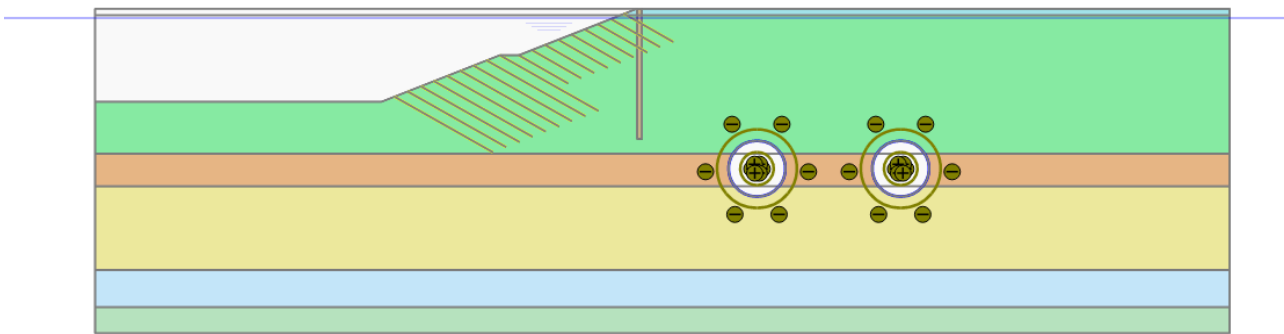


图 1 几何模型示意图

问题描述/PROBLEM

基坑开挖的阶段，计算提示荷载进程失败（如图 2）。这种问题该如何处理？

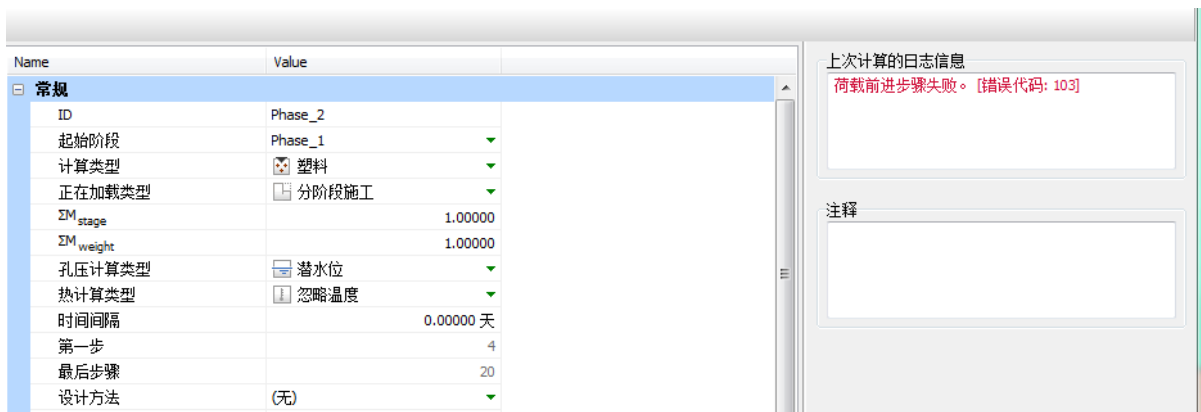


图 2 荷载进程失败提示



解决办法/SOLUTION

荷载进程失败，即在塑性计算的逐级加载过程中数值计算不收敛，其出现往往由一些错误的设置、不正确的岩土体参数等导致的，与土体倒塌类似，需要到后处理程序查看不收敛原因，进而检查前处理中的岩土体参数及计算设置。

查看塑性点分布图如图 3 所示，靠近坡脚位置的部分表层土体发生了受拉破坏，局部与土钉接触的位置受剪切破坏。该不收敛主要源于土-土钉之间接触位置的应力异常。而很多情况下，应力分布异常是孔隙水压力出现问题导致的，接下来，检查涉及基坑开挖的模型中非常容易出现的孔隙水压力的分布问题，如图 4，坑底表层土体由于基坑降水，孔隙水压力值一定应该是从 0 开始沿深度增加的，而图示中的孔压分布显然是不正确的。

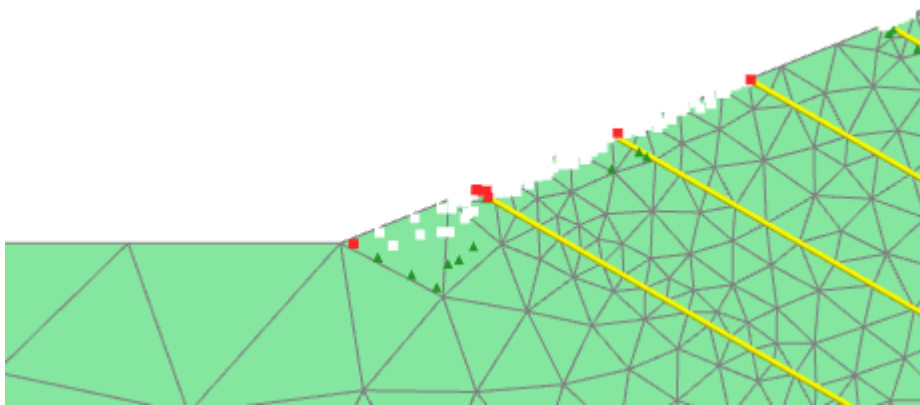


图 3 塑性应力点分布图

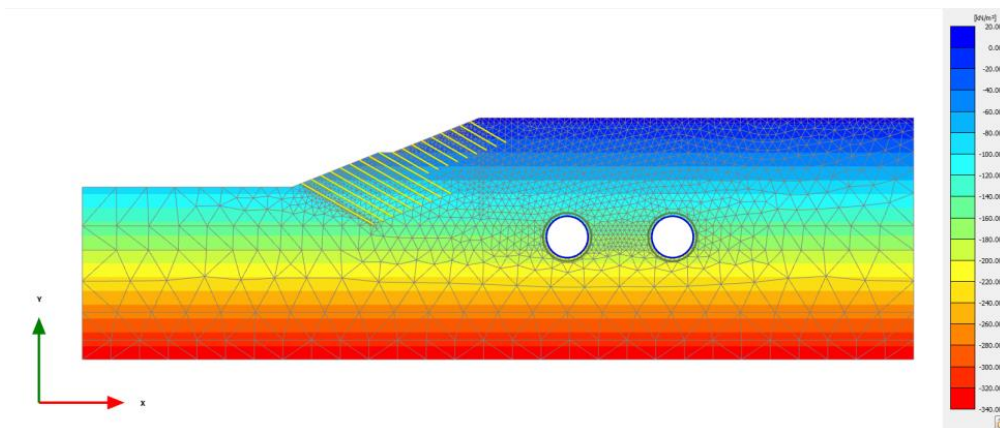


图 4 总孔隙水压力分布图

回到前处理程序检查下基础设置，首先检查土钉，发现用户模拟土钉使用的是土工格栅单元。在以前的 PLAXIS V8 系列版本中，由于没有引入嵌入式排梁单元，土钉一般采用土工格栅单元处理，但后续的版本中，均建议采用嵌入式梁单元来模拟土钉的行为。用土工格栅单元模拟土工格栅铺设时，土工格栅单元也应添加界面单元模拟土-结构接触。

此外，三轴搅拌桩用户采用实体单元模拟，却没有设置接触面单元，此处建议添加接触面单元来处理接触问题，界面单元既可以真实模拟接触关系，避免边角位置出现不正确的应力集中现象，同时可以作为模拟止水帷幕的不透水边界条件。

对模型中土钉、搅拌桩进行调整后的模型如图 5 所示。

由于后处理中孔压分布结果异常，接下来，检查模型中水的设置。原设置如图 6 所示，坑内的土体设置为“干”，施工

阶段中设置的孔压计算方式为“潜水位”。如此设置，虽保证开挖掉的部分没有水，但坑底的土孔压计算高度并没有发生变化，导致孔隙水压力分布出现问题。在原设置的基础上，修改孔压计算类型为“稳态渗流”即可解决该问题。

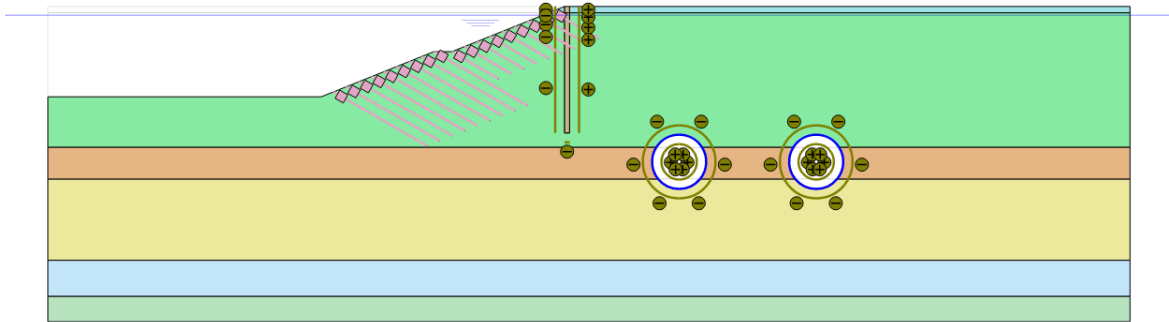


图 5 修正以后的模型

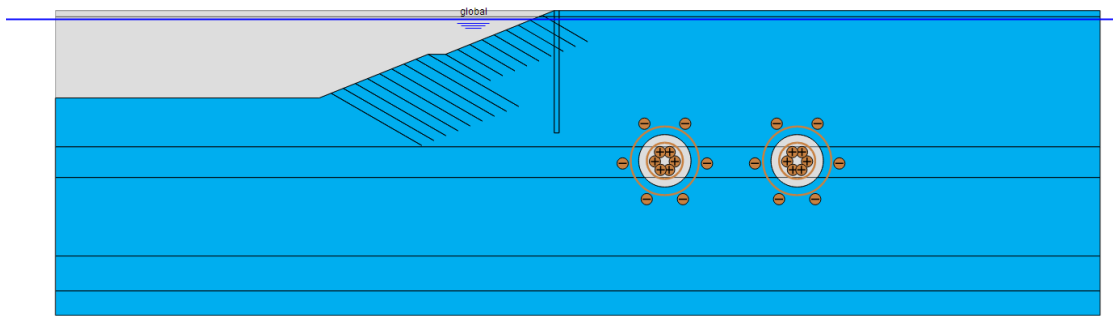


图 6 原模型水力条件设置图

常规	
ID	Initial phase [InitialPhase]
计算类型	<input checked="" type="checkbox"/> K0 过程
正在加载类型	<input type="checkbox"/> 分阶段施工
ΣM_{weight}	1.00000
孔压计算类型	<input checked="" type="checkbox"/> 稳态地下水渗流
热计算类型	<input type="checkbox"/> 忽略温度
估计结束时间	0.00000 天

图 7 孔压计算类型修改

整体来看，为避免出现该类问题，用户应加深对结构单元特性及相关应用的理解，同时在处理基坑问题时尤其要关注降水的设置，避免因设置有误导致不正确的孔隙水压力分布结果。

编写：郭晓通

真空预压模型分析结果异常问题

本案例主要展示分析真空预压法的软基处理时的常见问题及解决办法。

使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 3D CE V20

模型简介/MODEL

模型长宽均约 30m，土层自上而下分为四层，前三层均为软黏土，底部为硬黏土，采用真空预压法进行软土加固处理，真空吸力为 90kpa。取四分之一模型进行建模分析，模拟塑料排水板的排水线单元 x、y 方向均为 4 排，排距为 1.2m。

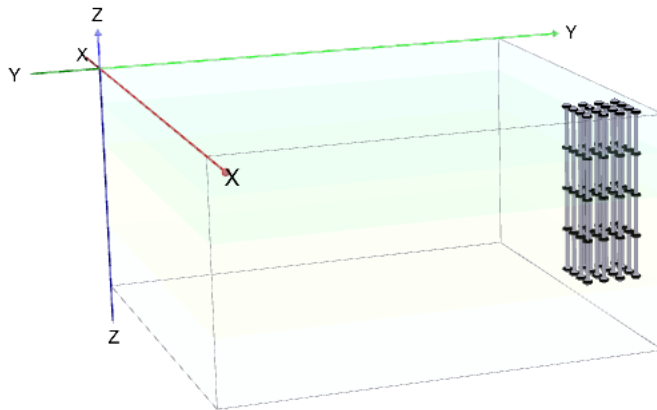


图 1 模型示意图

问题描述/PROBLEM

阶段 2 中出现警告代码，且得到的结果与实际的监测结果差异较大。

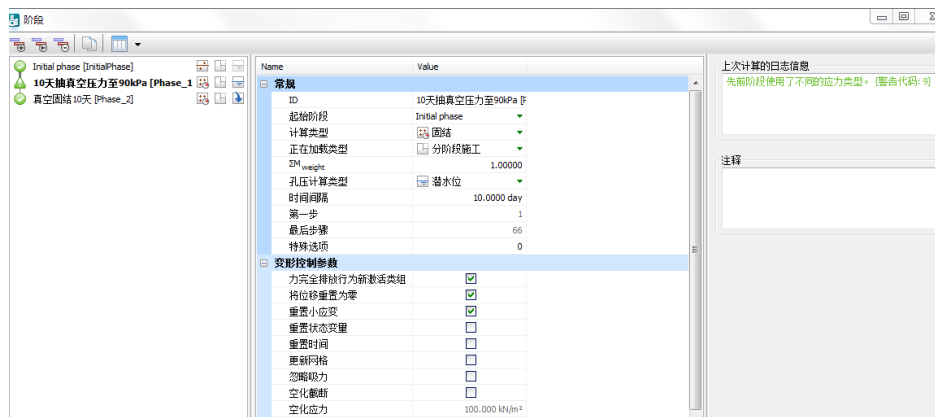


图 2 警告代码

解决办法/SOLUTION

首先，PLAXIS 中不含气体对象，对于真空预压问题是通过将气压力转化为水压力进行分析的，实际上，是一个瞬态流场

与应力场的耦合分析问题，所以用户使用固结计算去求解真空预压是不正确的，应切换为流固耦合分析，且每个阶段，均应取消勾选“忽略吸力”选项。

接下来，检查排水线单元的属性，其行为应为真空，水头通过将真空吸力转化，为-9m。

由于模型取四分之一进行分析，其地下水渗流边界条件与取整个模型分析不同。如图 3 所示，Xmax 和 Ymax 均应设置为关闭。

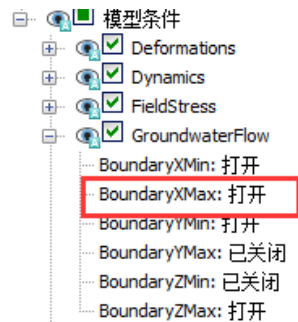


图 3 边界条件设置

最后，还应对该模型进行网格优化。对于涉及渗流场的分析模型，为了保证其收敛性及计算精度，网格密度要求往往比仅弹性变形分析的模型高。对于该模型，可创建面对象将排水线区域围起来，并对该区域进行加密处理，如图 4。

如图 5，模型修正后再次计算即可得到正确的真空预压沉降分布图。

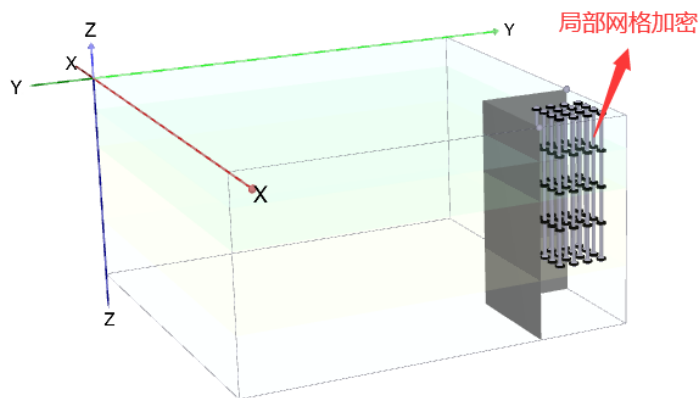


图 4 网格加密

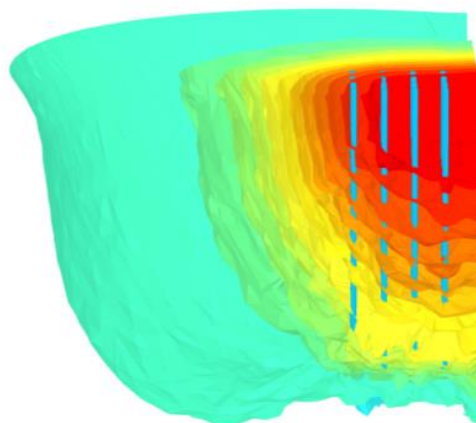


图 5 真空预压引起的沉降等值面图

隧道分析中的土体倒塌问题

本案例主要展示一新奥法隧道开挖出现土体倒塌提示的解决办法及隧道设计器的常见使用问题。



使用软件/SOFTWARE

PLAXIS 3D CE V20



模型简介/MODEL

模型长宽 $50 \times 30\text{m}$ ，灰岩中进行隧道的开挖，隧道断面为拱形，取一半隧道进行分析，如图 1 所示。

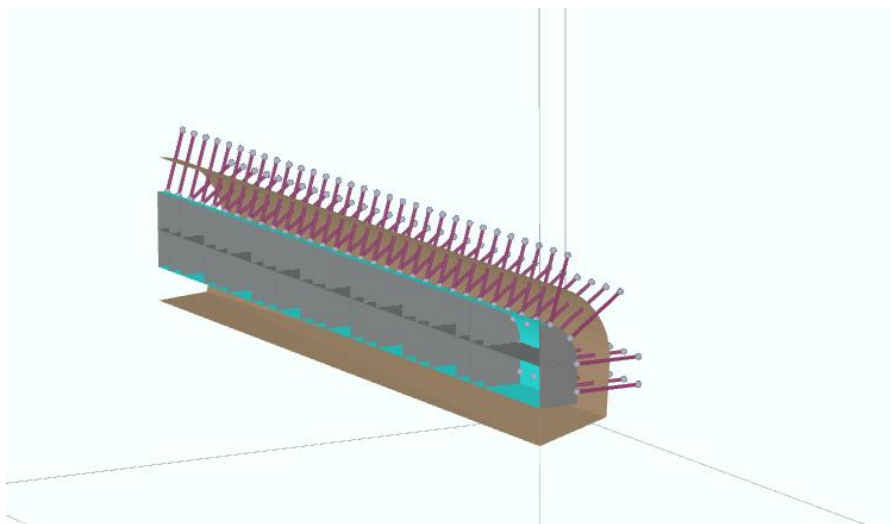


图 1 模型示意图



问题描述/PROBLEM

隧道第一步开挖过程中，提示土体倒塌，如图 2 所示。

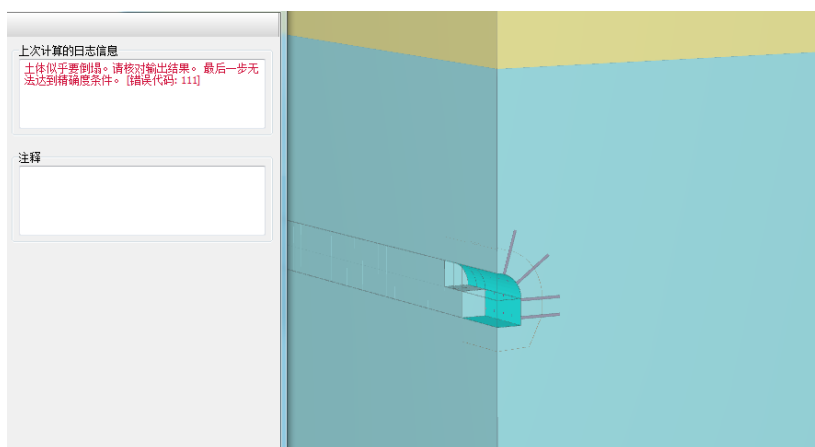


图 2 土体倒塌错误提示



解决办法/SOLUTION

首先查看增量位移云图（图 3），确认破坏位置，为模型左上角岩土体，将显示模式切换为箭头显示（图 4），发现模型左上角岩土体有向模型外侧变形的趋势，显然，该问题属于边界条件问题。

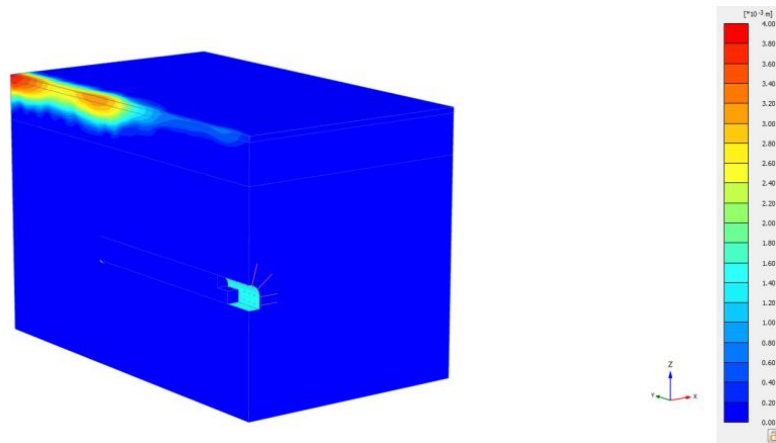


图 3 增量位移云图

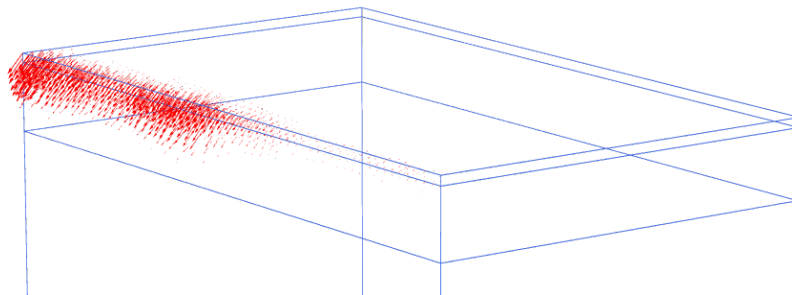
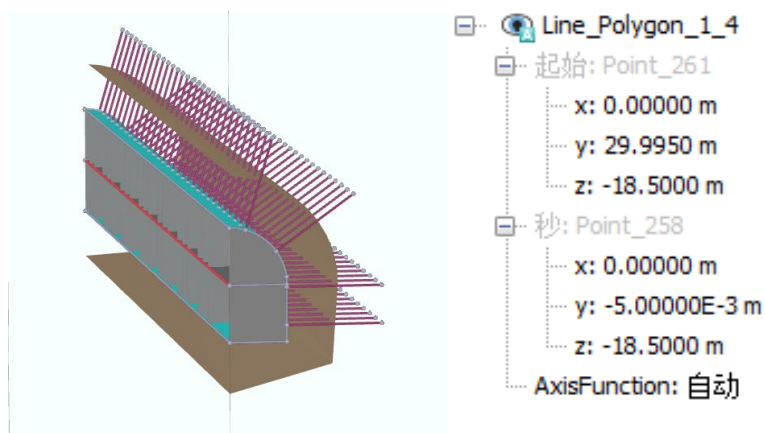


图 4 矢量图

在 PLAXIS 默认的边界条件中，约束对象为各坐标轴的最大值与最小值的平面，显然，隧道超出了模型边界。

切换到结构模式检查隧道几何图形，面对象的位置检查可以通过将面对象分解成轮廓线的方式。如图 5，隧道中面分解得到的线 x 坐标为 0，与模型边界平齐，而隧道外断面分解得到的线 x 坐标超出了模型边界范围。



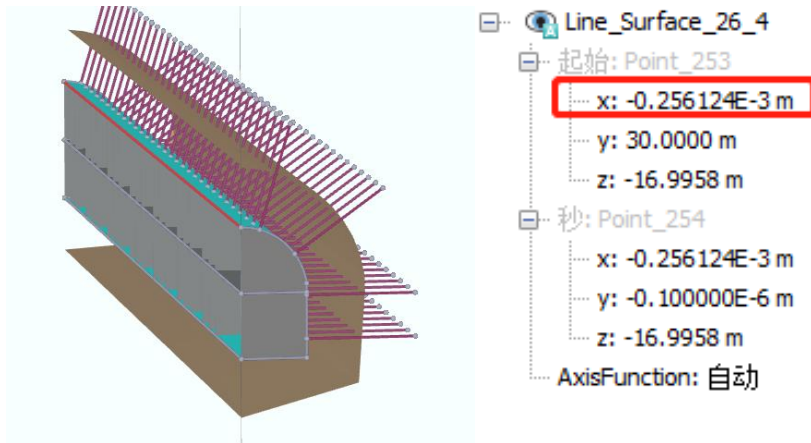


图 5 隧道模型的检查

切换到隧道设计器窗口，发现用户定义的隧道断面存在几何精确性问题。同时也发现，用户对于隧道设计器的使用存在问题。隧道设计器的“横截面”模式中，包括“线段”和“分段”，其中“线段”是隧道的外轮廓，分段是隧道的内部结构。显然，该隧道的主要横截面轮廓均应在创建在“线段”下。在由 CAD 导入隧道断面时也应注意，为了帮助程序自动识别隧道外部轮廓与内部结构，用户应把隧道外部轮廓线合并为整条多段曲线。

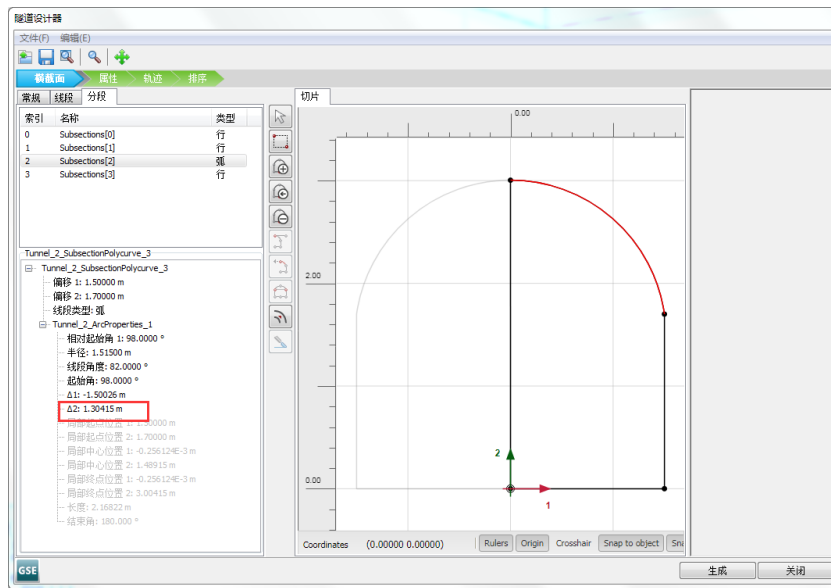


图 6 隧道设计器断面模式图

出现土体倒塌提示时，用户应首先查看后处理程序中的位移增量与塑性点图，查看土的破坏位置及原因，再检查是岩土体参数问题还是边界条件问题。另外，在使用隧道设计器导入 dxf 隧道轮廓时，应注意“线段”与“分段”之间的差异，提前在 CAD 中调整好隧道断面图形，以避免导入 PLAXIS 后出错。

编写：郭晓通

Perform^{3D} v8

PERFORMANCE-BASED DESIGN OF 3D STRUCTURES

新增及改进功能

PERFORM-3D V8 新增及改进功能

图形

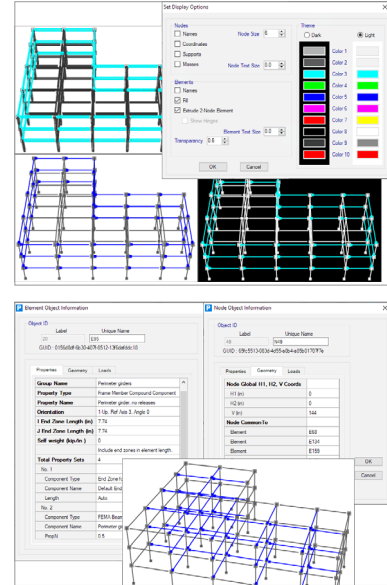
- 开发了新的图形用户界面，以提供更多功能和更高的图形清晰度
- 新增显示操作选项：控制显示对象及文本的大小，选择显示或深或浅的颜色主题，切换拉伸视图，显示节点或单元的编号
- 新增打印预览，可打印结构模态及变形形态

数据文件及分析

- 超过 32,692 个时间步长的地震和动力记录可以用于分析
- 每个分析序列允许的最大模态数量从 50 增加到 99

数据库表格

- 分析结果和性能指标可以在图形用户界面中显示，取代了从二进制文件中读取结果的需要。表格结果可以导出为文本、XML、Excel 和 Access 格式
-



[点击了解更多功能特性](#)

IDEA StatiCa[®] v21

Calculate yesterday's estimates

新增及改进功能

IDEA 21.0.0 新增及改进功能

CBFEM 求解器

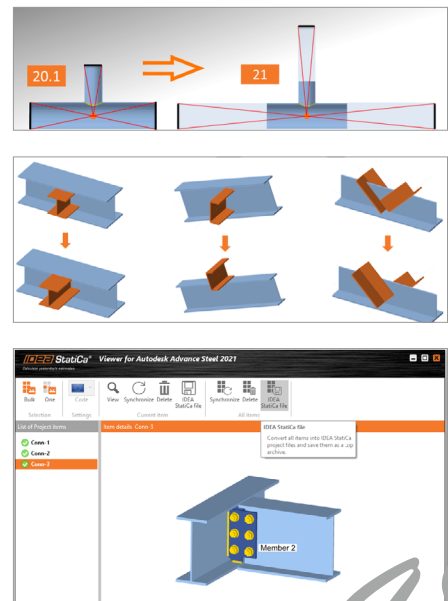
- 双非线性分析的求解器效率提升近 30%
- 在构件端部引入缩减单元提高空心截面的计算精度

节点设计

- 灵活定义构件之间的相对位置
- 新增基于抗震设计的节点模板
- 自动推荐节点连接方案
- 新增钢结构节点高周疲劳的正应力和剪应力计算

BIM 接口

- 支持主流 CAD/CAE 软件的最新版本
 - 针对 Tekla、Revit 和 Advance Steel 的 CAD 插件新增批量导出、一键同步等功能
-



[点击了解更多功能特性](#)

48

新增及改进功能

SAP2000 23.2.0 新增及改进功能

分析功能

- 针对多个荷载模式中框架模型的求解速度和计算性能大幅提升，包括组装刚度、确定事件以及状态更新。该功能可显著提高非线性静力分析、阶段施工分析以及非线性直接积分法时程分析的计算速度。

设计功能

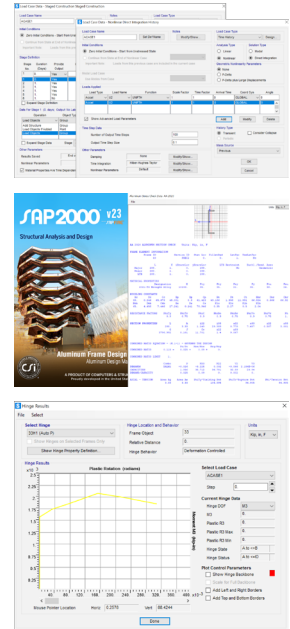
- 新增基于美标 US 2020 铝合金设计手册的铝合金框架设计功能

数据库表格

- 基于多线程技术进一步增强框架响应表格的结果恢复功能

中文版相关的功能改进

- 修复了设计首选项设置“钢梁忽略 PhiB”后误用于钢柱的问题
- 修复了在中文界面下设置 SAPFire 高级选项出错的问题
- 修复了在中文界面下“编辑曲线框架”对话框显示不完整的问题



[点击了解更多功能特性](#)



新增及改进功能

CSIBridge 23.2.0 新增及改进功能

建模功能

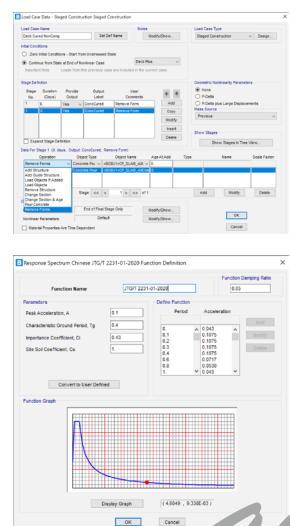
- 混凝土 T 型梁桥新增“Pour Concrete (浇筑混凝土)”和“Remove Forms (移除支架)”两个阶段施工的操作类型。借助以上两个操作，用户可在当前施工阶段中对主梁施加混凝土板的湿重，在后续施工阶段中激活硬化后的混凝土板刚度。

加载功能

- 新增基于中国规范 JTG/T 2231-01-2020 的反应谱函数

分析功能

- 针对多个荷载模式中框架模型的求解速度和计算性能大幅提升，包括组装刚度、确定事件以及状态更新。该功能可显著提高非线性静力分析、阶段施工分析以及非线性直接积分法时程分析的计算速度。
- 基于影响线的移动荷载工况中节点反力的计算速度得到进一步提升。



[点击了解更多功能特性](#)



CiSApps v23 新增及改进功能

增加 SAP2000V23 版本的支持

改进钢结构防火设计插件

• 该插件基于《建筑钢结构防火技术规范》GB51249-2017（后简称防火规范）制定，用户可通过本插件自动完成下述操作：钢构件温度计算，添加荷载组合，调整钢材弹性模量与钢材屈服强度，自动调整设计相关参数（轴向稳定系数（ ϕ ）和整体稳定系数（ ϕ_b ）），并生成防火模型。用户只需运行防火模型并进行设计即可完成钢结构防火设计。

- 1) 明确 SAP2000 设计方法需为一阶分析法
- 2) 增加自动防火设计荷载组合，可设置是否添加荷载组合，荷载组合系数可编辑

• 增加钢构件高温下设计参数调整

- 1) 轴向稳定系数（ ϕ ）和整体稳定系数（ ϕ_b ）调整
- 2) 设计强度调整

• 优化杆件调整信息显示

• 增加使用说明和帮助文档

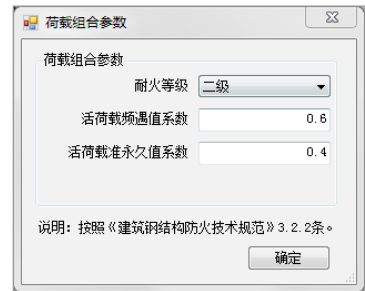
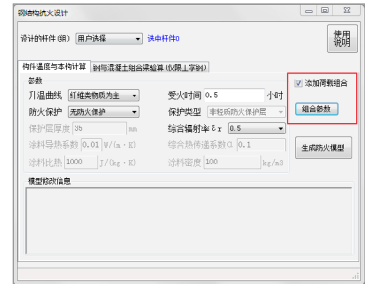
• 优化使用流程

改进冷弯薄壁型钢设计工具

.....

[点击了解更多功能特性](#)

项	数值
1 设计规范	Chinese 2018
2 多遇工况	包络值
3 框架类型	Sway Moment Frame, SMF
4 高层建筑?	是
5 抗震等级	等级 II
6 结构重要性系数 γ_0	1.0
7 荷载类型比 (HT) 荷载?	是
8 连接在钢构件设计?	否
9 忽略 e_0 ?	否
10 分析方法	Limited 1st Order
11 稳定系数 ϕ	否
12 抗震性能?	否
13 附加限值 L1	120
14 附加限值 * 系数 / 限值 L1	120
15 限值限值 L1	240
16 总限值 L1	240
17 净限值限值 L1	240
18 样式荷载系数	0.75
19 应力比限值	0.95



CiSGTCAD V2.0

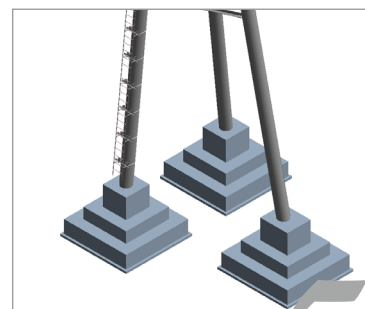
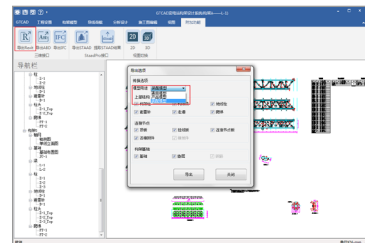
变电站构架设计软件

CiSGTCAD V2.0.1 新增及改进功能

- 增加 SAP2000V23 版本调用
- 导出 Revit 模型增加导出模型分类
- 增加基础导入 Revit 功能
- 增加爬梯导入 Revit 功能
- 优化梁走道导入速度
- 导出的 Revit 模型补充节点板螺栓等的材质和质量属性
- 调整文件管理，减少文件夹层级
- 调整文件读取，减少文件的重复保存

.....

[点击了解更多功能特性](#)





达人坛 - 特邀讲座 “抗震工程学—高层混凝土结构的分析与设计”

2021年6月2日晚6:30,有幸邀请到上海长福工程设计事务所创始人扶长生教授进行抗震工程学相关的公益讲座。讲座约有三百多名工程师参与,时长近3个小时。

扶总的讲座内容主要包括四大部分,高层建筑的稳定问题、抗震设计若干问题的讨论、重力荷载体系设计和性能设计。每个专题都由力学公式和理论引出,再结合实际工程案例和规范进行探讨,深入浅出的让工程师们掌握了多个设计要点,如最小地震剪力的调整、配箍率与轴压比的关系、性能设计法与法定设计法的异同等。

讲座的最后是交流讨论时间,工程师们积极提问,场面非常热烈,扶总与大家讨论了最近深圳赛格大厦“晃动”的热点话题,也交流了一些新版广东高规的改进。整个讲座的效果非常好,大家都表示受益匪浅,期待有更多类似的讲座!

针对6月2日扶长生教授的公益讲座,很多工程师都表示意犹未尽,希望与扶总有进一步的交流。为此,特别策划组织了6月9日晚的答疑会,会上大概有三百多人参加。

此次线上交流会主要对之前工程师们提出的一些问题进行解答,如二道防线设计、轴压比控制、超限审查的意义、广东新高规等等,共计十余个。扶总在解答完遗留问题后,进入了连麦交流环节。工程师们饱含热情,积极提问,场面依旧热烈,扶总与大家讨论了很多结构设计热点问题。整个答疑会大家热情不减,都很珍惜这次与扶教授直接连线的机会,计划八点结束的答疑会也推迟到了九点,大家都表示受益颇多,期待以后的交流机会!



供稿: 刘慧璇



助力高校 协同创新 【SAP2000 与结构力学】课程火热进行中

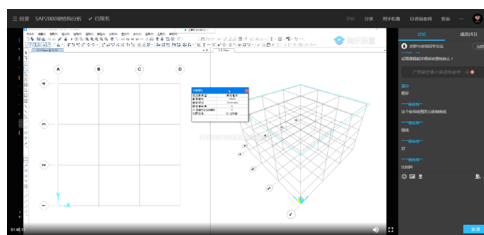
随着有限单元法在工程界的普及和应用，各大理工类院校陆续将其列为本科生或研究生的学位课程。作为通用的建筑结构分析与设计软件，SAP2000 凭借其高效稳定的求解性能和交互式的一体化设计，在近五十年的深耕细作中获得了全球范围内数十万工程师的一致认可与好评。目前，SAP2000 已广泛应用于工业与民用建筑、市政工程、道路与桥梁工程、水利水电及岩土工程等各个领域。

恰逢全国大学生结构设计竞赛开展之际，筑信达推出该系列线上课程，将结合土木专业本科生的材料力学和结构力学课程，以深入浅出的方式介绍 SAP2000 软件在梁、拱、桁架、框架以及索结构中的常见应用，以期搭建起力学理论与工程应用之间的桥梁。

该课程已开展五期，学生及工程师们踊跃报名参加，报名人数已达到 300 余人。第一期主要介绍结构力学中的若干基本概念在 SAP2000 中的实现或验证方法；第二期主要介绍梁结构相关的操作要点和注意事项；第三期主要介绍梁结构相关的弯矩图、挠曲线以及节点处的弹性支座。课堂上内容丰富，有知识点讲解、案例讲解、软件实操，学生及工程师们积极互动，踊跃提问，课后来电咨询技术问题，部分同学因准备期末考试未能参加，课后看回放视频进行学习，网络课堂及 B 站点击次数达到 1500 余次，学员们在培训中获得了切实可行的指导。

在此，希望未参与培训的各位同学积极报名，熟练掌握和理解 SAP2000 结构分析的操作流程和基本原理，以力学理论指导软件应用，以数值计算深化力学概念，切实做到“举一反三，触类旁通”，为成为未来优秀的土木工程师打下坚实的基础。

- 1、SAP2000 基本力学概念 /2021-05-20 (已结束)
- 2、SAP2000 梁结构分析 (一) /2021-05-27 (已结束)
- 3、SAP2000 梁结构分析 (二) /2021-06-10 (已结束)
- 4、SAP2000 桁架结构分析 /2021-07-01 (已结束)
- 5、SAP2000 拱结构分析 /2021-07-15 (已结束)
- 6、SAP2000 框架结构分析 / 待定
- 7、SAP2000 移动荷载分析 / 待定
- 8、SAP2000 索结构分析 / 待定
- 9、SAP2000 API 二次开发 / 待定



QQ 群号：1007213405
扫一扫加入群聊

扫描二维码报名

供稿：王晋京



欧标 / 英标钢结构设计讲座活动报道

2021年4月28日举办了达人坛讲座“基于欧标/英标的钢结构设计概览”，特别邀请Burohappold 标赫香港顾问公司 Associate 结构主任王于洋先生，基于多年从事欧标、英标、港标项目经验，介绍欧英钢结构设计规范简述、钢材的材料性能、结构稳定性、结构屈曲、钢结构振动及节点设计在欧标/英标的介绍，以及和国标规范的相同与区别之处。演示了钢节点设计手算与 IDEA 软件结果对比案例。

本次讲座参会人员涉及国内内地、香港、澳门及海外工程师共计 200 多人，大家对欧英标体系内容兴趣浓厚，现场踊跃发言，讲师对大家提问逐一解答，再次感谢标赫 Associate 结构主任王于洋讲师精彩内容和各位工程师的参与。

讲座回放视频：<https://www.bilibili.com/video/BV1Fy4y1x72n?from=search&seid=2597148312124374536>

供稿：张嘉鑫



SAP2000 & IDEA 实例操作培训班南京站圆满完成

为感谢新老客户对 SAP2000 和 IDEA 的支持，2021年6月23日上午九点至下午五点，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的 SAP2000 & IDEA 实例操作南京站培训班在南京宜必思酒店进行。

主讲人是筑信达技术部主任工程师张志国，技术工程师吕良协助解答工程师疑问。此次参加的工程师有建筑、石化设计院、环保公司、钢结构厂等 20 家单位，43 人参加。本次实例操作培训班以 SAP2000 单层钢结构厂房、SAP2000 连廊结构、IDEA 钢结构节点案例演示为主，并介绍了 IDEA 软件功能及理论背景介绍，讲师带领各位学员完成 SAP2000 和 IDEA 结构分析与设计的全操作流程，期间学员积极踊跃，提问、探讨。培训结束后，为工程师检查此次培训成果，并与工程师进行进一步探讨 IDEA 能否模拟销轴的问题。通过此次培训，大家对 SAP2000 和 IDEA 有了更深层次的理解和应用，对以后的工作提供更多的助力。



供稿：燕楠



GTCAD&IDEA 发布会报道

2021年5月14日下午举行了变电站构架设计软件 CiSGTCAD 和钢节点设计软件 IDEA 新版本网络直播发布会，由总经理郭大力开场致词，介绍了筑信达基于电力钢结构行业解决方案的 GTCAD 和 IDEA 的一个发展历程和最新的成果，同时也感谢在软件研发过程中广大用户的反馈和意见，然后开发部技术工程师孙雪艳介绍了 CiSGTCAD 的新增功能及亮点，最后技术主任王张志强演示了 IDEA 产品的新增功能及 IDEA 与 GTCAD 在电力构架中的整体解决方案流程。

变电站构架设计软件 CiSGTCAD 自 2014 年发布 V1.0 以来，建模快速，一体化设计出图功能广受用户好评，在 V1 版本基础上，在建模、计算、施工图以及软件整体功能上新增优化了大量功能，另外，针对行业需求增加了三维模型显示及 BIM 软件导出等功能。

钢节点设计软件 IDEA 新版本 V21.0，IDEA 不仅补强了电力构架钢节点快速基于组件有限元法分析设计的整体解决方案。在大跨空间结构、工业与民用项目等钢节点上分析设计上，IDEA V21.0 也是我们有史以来发布的最好的一个版本。优化 CBFEM 求解器效率，新增疲劳分析、自动推进节点连接方案、新增基于抗震设计的节点模板，更新的 BIM 接口更是让 IDEA 这个钢节点分析设计软件，变得更强大易用。

现场，大家对新版本功能讨论异常激烈，发布会最后我们抽取了三名幸运工程师获得了本次一二三等奖。

一等奖（移动硬盘）：中国建筑西北设计研究院有限公司 赵工

二等奖（小米手环）：中国天辰工程有限公司 杜工

黑龙江省电力设计院有限公司 苗工

另外，我们为大家提供了最新版软件试用，大家可扫码申请。

发布会视频：<https://www.bilibili.com/video/BV1cV41177VG>



扫描二维码申请试用



供稿：张嘉鑫

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



CSIBRIDGE

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/bjicsec