

# 应用 YJK-STF 进行钢制储罐基础结构设计的算例

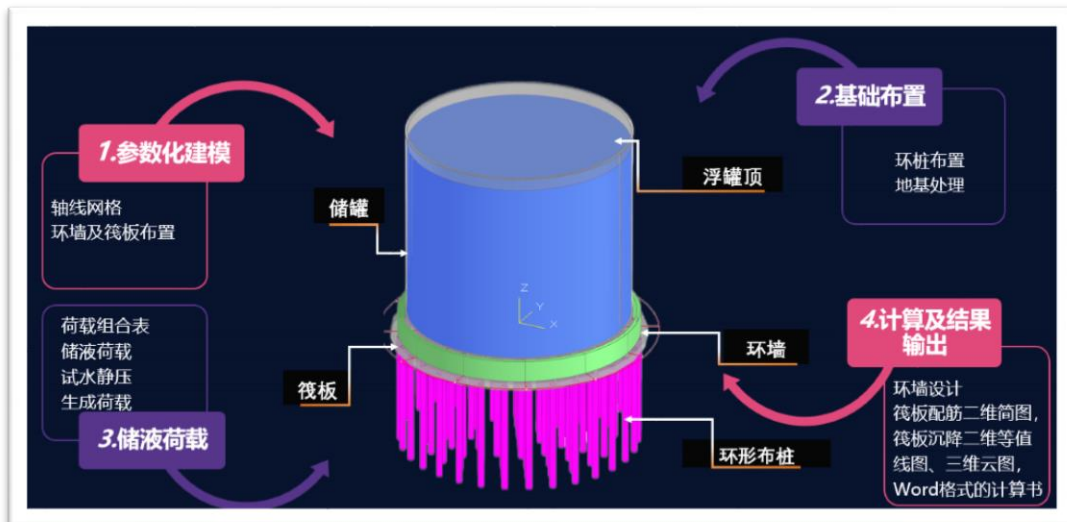
郭峰

YJK 储罐地基基础设计软件 (YJK-STF)是一款石油化工有限公司储罐地基基础设计的专用软件，它采用参数化建模方式，可高效便捷的进行钢制储罐基础设计。目前主要支持三种类型：立式储罐、球罐以及卧式容器。



YJK-STF 钢制储罐基础设计软件和 YJK 结构软件主程序一脉相承，如果对 YJK 结构设计软件比较熟悉的话，在操作上并不需要太多的学习成本。这里结合一个实例进行介绍，方便大家快速把握 YJK-STF 钢制储罐基础设计软件在使用中的要点。

本算例采用立式圆筒储罐举例，程序的主要操作流程如下所示，总体上分为四步：参数化建模——基础布置——荷载输入及查看——计算及结果输出。



## 一、参数化建模

本算例选择工程储罐规格为 2000m<sup>3</sup>：



4.1.2 环墙式罐基础等截面环墙的宽度计算式(1)是按环墙底压强与环墙内同一水平地基土压强相等(标准值)的条件而求得的,即  $P_1 = P_2$  (见图 1)。

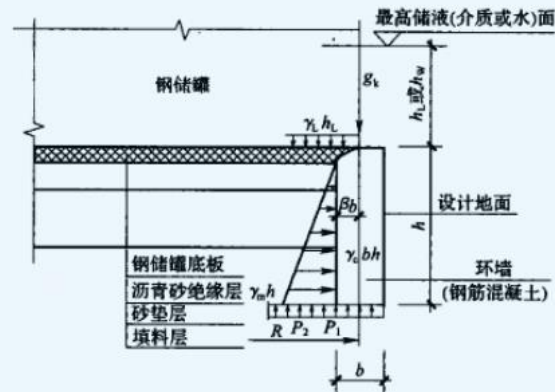


图 1 环墙计算

以  $\beta$  作为应变变量可得:

$$\beta = 1 - \frac{g_k}{\gamma_L h_L b} - \frac{h}{h_L} \left( \frac{\gamma_c - \gamma_m}{\gamma_L} \right) \quad (1)$$

式中  $\beta$ ——罐壁伸入环墙顶部宽度系数;

$g_k$ ——罐壁底端传给环墙顶端的线分布荷载标准值(当有保温层时尚应包括保温层的荷载标准值)(kN/m);

$b$ ——环墙厚度(m);

$\gamma_L$ ——罐内使用阶段储存介质的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$h_L$ ——环墙顶面至罐内最高储液面(介质)高度(m);

$\gamma_c$ ——环墙的重度(kN/m<sup>3</sup>);

$\gamma_m$ ——环墙内各填料层的平均重度(kN/m<sup>3</sup>);

$h$ ——环墙高度(m)。

关于罐壁底端传给环墙的线分布荷载标准值( $g_k$ ),当为浮顶罐时,仅为罐壁的重量(包括保温层重量);当为固定顶罐(包括内浮顶罐)时,应为罐壁和罐顶的重量(包括保温层重量)。

### 1. 构件参数页:

程序自动生成相应的罐体参数,相应的参数可以在帮助文件中进行查看,并支持交互修改。对于环墙厚度,程序支持按《钢制储罐地基基础设计规范》GB 50473-2008 第 4.1.2 条 计算环墙厚度。计算假定为:环墙底压强 = 地基土压强,详见上图条文说明第 4.1.2 条。

下面是一个环墙厚度的计算算例:

储罐净重=459100 kg,

环墙半径=18.5m,

环墙高度=2.2m,

环墙顶面至罐内最高液面高度  $h_L=19.5m$ ,

罐壁伸入环墙顶部宽度系数  $\beta=0.5$ ,

环墙重量  $\gamma_c=25 \text{ kN/m}^3$ ,

罐内使用阶段储存介质的重量  $\gamma_L=8.3 \text{ kN/m}^3$ ,

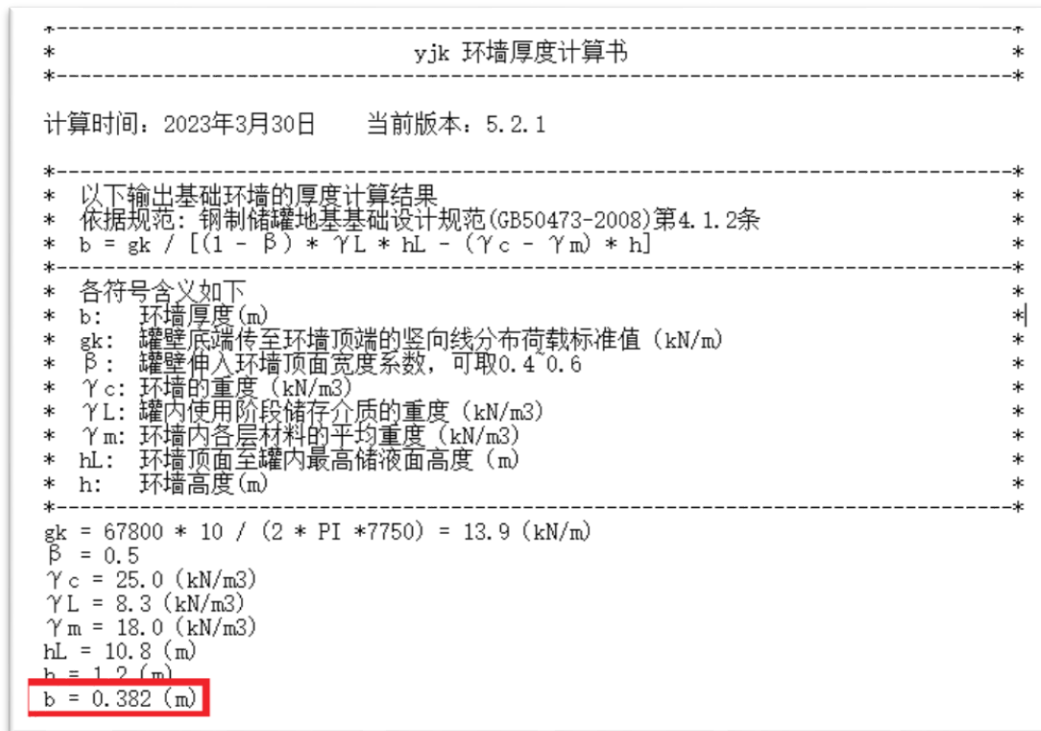
环墙内各层材料的平均重量  $\gamma_m=18 \text{ kN/m}^3$ ,

先计算环墙顶面线荷载,  $g_k = 459100/1000 \times 10 / (3.14 \times 2 \times 18.5) = 39.5 \text{ kN/m}$ , 将计算条件各参数代入下式:

$$\beta = 1 - \frac{g_k}{\gamma_L h_L b} - \frac{h}{h_L} \left( \frac{\gamma_c - \gamma_m}{\gamma_L} \right)$$

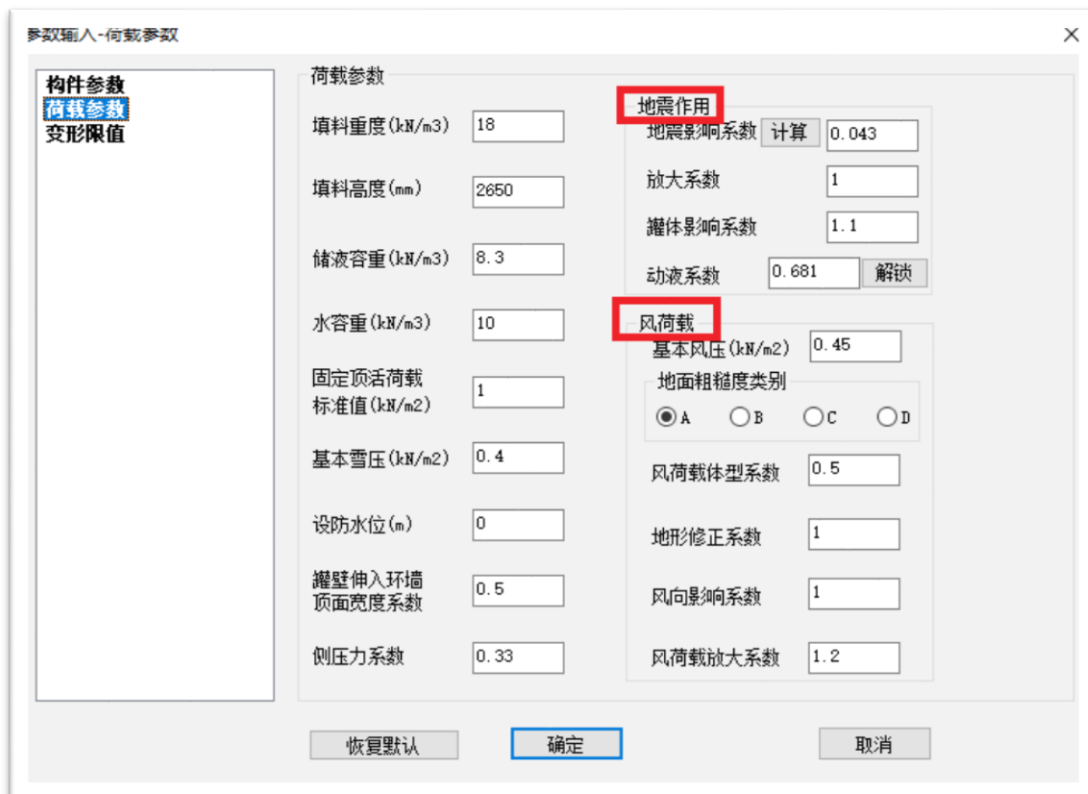
得:  $b=603\text{mm}$ 。

在软件中点击“计算”按钮后, 程序会自动弹出按照规范进行计算的环墙厚度计算书, 给出相应的计算参数及计算结果。



## 2. 荷载参数页：

程序也自动生成了填料和储液的重度以及填料高度等参数，并支持交互修改，地震作用和风荷载信息也在这里输入：



地震作用下的“地震影响系数”支持一键计算，点击“计算”之后可在弹出的窗口中直接进

行相应信息的输入即可得到地震影响系数的结果：

地震影响系数 ×

|   |  |
|---|--|
| 水平地震影响系数最大值<br>地震烈度(设计基本地震加速度) <input type="text" value="6(0.05g)"/>  | 特征周期值<br>设计地震分组: <input checked="" type="radio"/> 一 <input type="radio"/> 二 <input type="radio"/> 三<br>场地类别: <input type="text" value="I0"/><br>特征周期值(s): <input type="text" value="0.2"/>             |
| 水平地震影响系数最大值 <input type="text" value="0.04"/>   |  |
| 基本自振周期<br>罐壁距底板1/3高度处的名义厚度(mm) <input type="text" value="5"/><br>储罐设计最高液位Hw(mm) <input type="text" value="10800"/><br>储罐内直径D(mm) <input type="text" value="15500"/><br>耦联振动周期系数(×1.0E-3s) <input type="text" value="0.427"/><br>储罐与储液耦联振动基本自振周期(s) <input type="text" value="0.182"/> | 阻尼调整系数&形状参数<br>阻尼比 <input type="text" value="0.04"/><br>阻尼调整系数η2 <input type="text" value="1.069"/><br>衰减指数γ <input type="text" value="0.919"/><br>直线下降段的下降斜率调整系数η1 <input type="text" value="0.022"/> |
| <input type="button" value="计算地震影响系数"/> <input type="text" value="0.043"/>  | <input type="button" value="确定"/> <input type="button" value="取消"/>  |

对于地震作用，程序按照《构筑物抗震设计规范》GB 50191-2012 计算总水平地震作用标准值。

19.2.5 储罐的总水平地震作用标准值应按下列公式计算：

$$F_{Ek} = \alpha \eta m_{eq} g \quad (19.2.5-1)$$

$$m_{eq} = m_L \Psi_w \quad (19.2.5-2)$$

式中： $F_{Ek}$ ——储罐的总水平地震作用标准值；

$\eta$ ——罐体影响系数，可采用1.1；

$m_{eq}$ ——储液等效质量；

$m_L$ ——罐内储液总质量；

$\Psi_w$ ——动液系数，应根据D/H<sub>w</sub>值按表19.2.5采用，中间值可采用线性插入法计算。

19.2.6 设置地脚螺栓的环境式基础或桩基础，其总水平地震作用在罐基础顶部产生的力矩应按下式计算：

$$M_1 = 0.45 F_{Ek} H_w \quad (19.2.6)$$

式中： $M_1$ ——总水平地震作用在罐基础顶部产生的力矩标准值。

对于风荷载，程序按照《工程结构通用规范》GB 55001-2021 第 4.6.1 条计算风荷载标准值，考虑参数有：

- (1) 基本风压
- (2) 风压高度变化系数
- (3) 风荷载体型系数
- (4) 地形修正系数

(5) 风向影响系数

(6) 考虑风荷载脉动的增大系数，即：风荷载放大系数

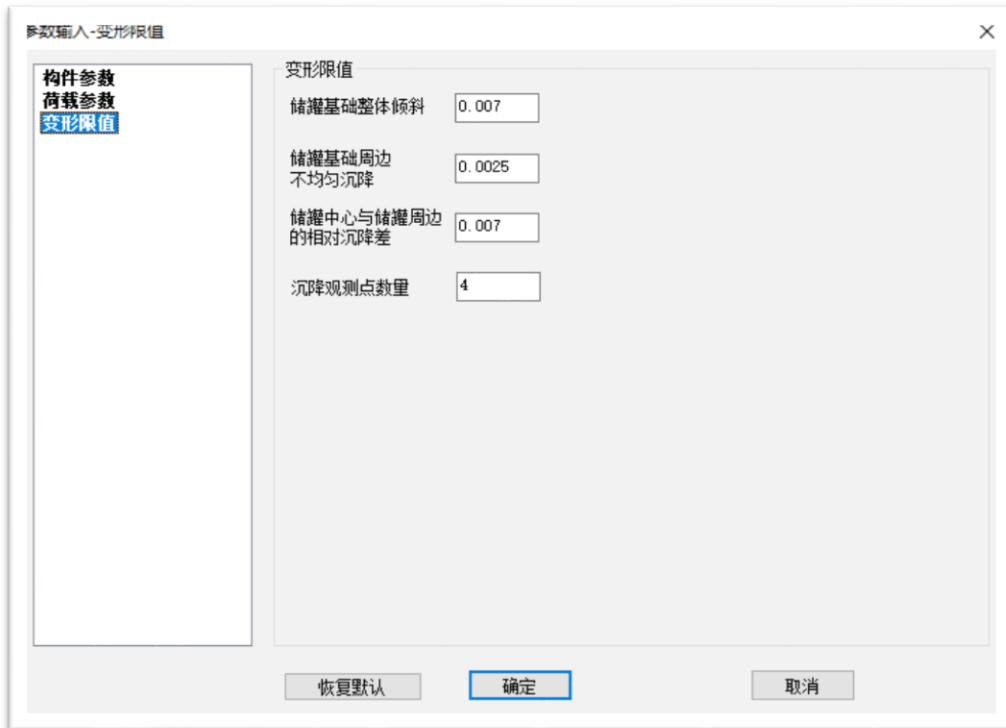
程序按照《建筑结构荷载规范》GB 50009-2012 条文说明第 8.2.1 条计算风压高度变化系数，考虑截断高度，A、B、C、D 场地粗糙度的风压高度变化系数分别不小于 1.09、1.00、0.65、0.51。

$$\mu_z^A = 1.284 \left( \frac{z}{10} \right)^{0.24}$$
$$\mu_z^B = 1.000 \left( \frac{z}{10} \right)^{0.30}$$
$$\mu_z^C = 0.544 \left( \frac{z}{10} \right)^{0.44}$$
$$\mu_z^D = 0.262 \left( \frac{z}{10} \right)^{0.60}$$

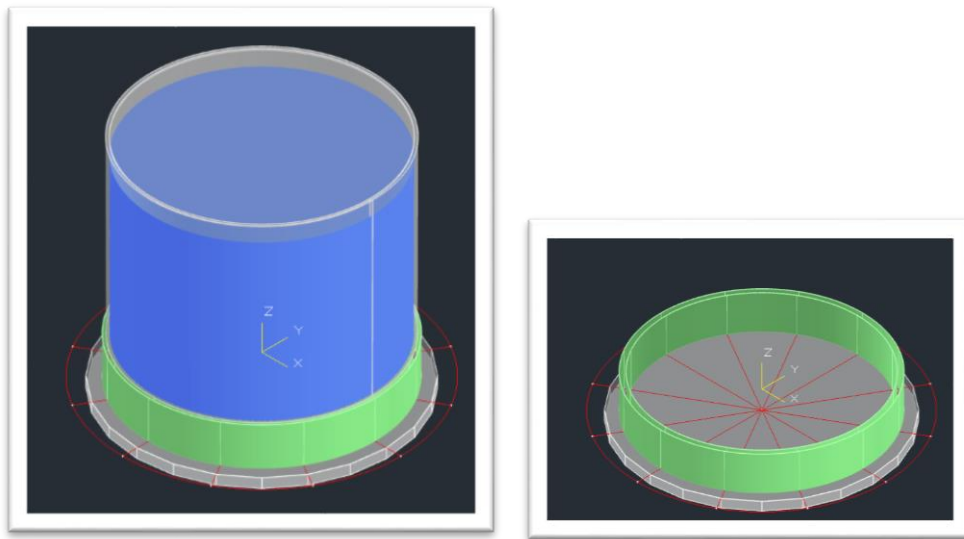
按《工程结构通用规范》GB 55001-2021 第 4.6.5 条，风荷载放大系数不小于 1.2，因此软件默认值取 1.2。

### 3. 变形限值参数页：

程序根据《钢制储罐地基基础设计规范》GB50473-2008 第六章的内容默认生成，还可以进行交互修改：



参数设定好之后确定生成模型，并且可以通过右下角的快捷按钮控制是否显示上部罐体，以方便查看模型：



控制按钮位于右下角：



## 二、基础布置

基础筏板在参数化建模时已经生成，这里主要是桩基以及地基处理的布置，程序目前根据《钢制储罐地基处理技术规范》GB/T 50756-2012，支持碎石桩、水泥粉煤灰碎石桩、水泥石搅拌桩、灰土挤密桩、钢筋混凝土桩复合地基 5 种地基处理方法。



以 CFG 桩为例，布桩形式和计算参数进行输入后，点击计算后程序会自动进行地基处

理后地基承载力的计算及 CFG 桩的布置：

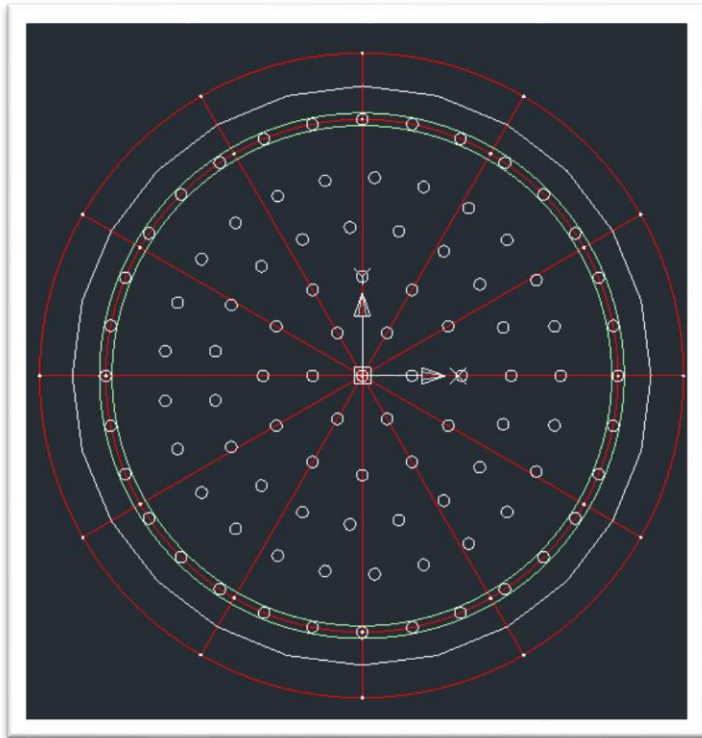
水泥粉煤灰碎石桩法

|   |      |   |       |
|---|------|---|-------|
| <b>布桩参数</b>   |      | <b>计算参数</b>   |       |
| <input checked="" type="checkbox"/> 桩顶是否设置桩帽                  |      | 基础底面处天然地基承载力特征值 $f_{ak}$ (kPa)                                | 100   |
| 桩径(mm)  | 350  | 处理后桩间土承载力特征值 $f_{sk}$ (kPa)                                   | 120   |
| 桩长(m)   | 10   | 单桩竖向承载力特征值(kN)  | 200   |
| 桩帽厚度(mm)  | 350  | 桩身平均直径 $d$ (m)  | 0.35  |
| 桩帽直径(mm)  | 500  | 桩间土承载力折减系数 $\beta$  | 0.7   |
| 桩帽顶部宽出桩边尺寸(mm)  | 100  | 桩土立方体抗压强度(kPa)  | 2000  |
| 桩帽底部宽出桩边尺寸(mm)  | 100  |   |       |
| 垫层厚度(mm)  | 650  |   |       |
| <b>布桩型式</b>   |      | <b>计算结果</b>   |       |
| <input checked="" type="radio"/> 环形 <input type="radio"/> 正方形 |      | 单桩分担的处理地基面积的等效圆直径 $d_e$ (m)                                   | 1.695 |
| 径向间距(mm)  | 1500 | 桩身截面积 $A_p$ ( $m^2$ )   | 0.196 |
| 环向间距(mm)  | 1500 | 桩土面积置换率 $m$   | 0.087 |
| 桩距(mm)  | 1500 | 复合地基承载力特征值 $f_{spk}$ (kPa)                                    | 165.3 |
|   |      | 桩身强度验算  |       |
|   |      | <input type="radio"/> 满足 <input checked="" type="radio"/> 不满足 |       |
|   |      | 各复合土层的压缩模量与该层天然地基压缩模量的比值 $\xi$                                | 1.653 |

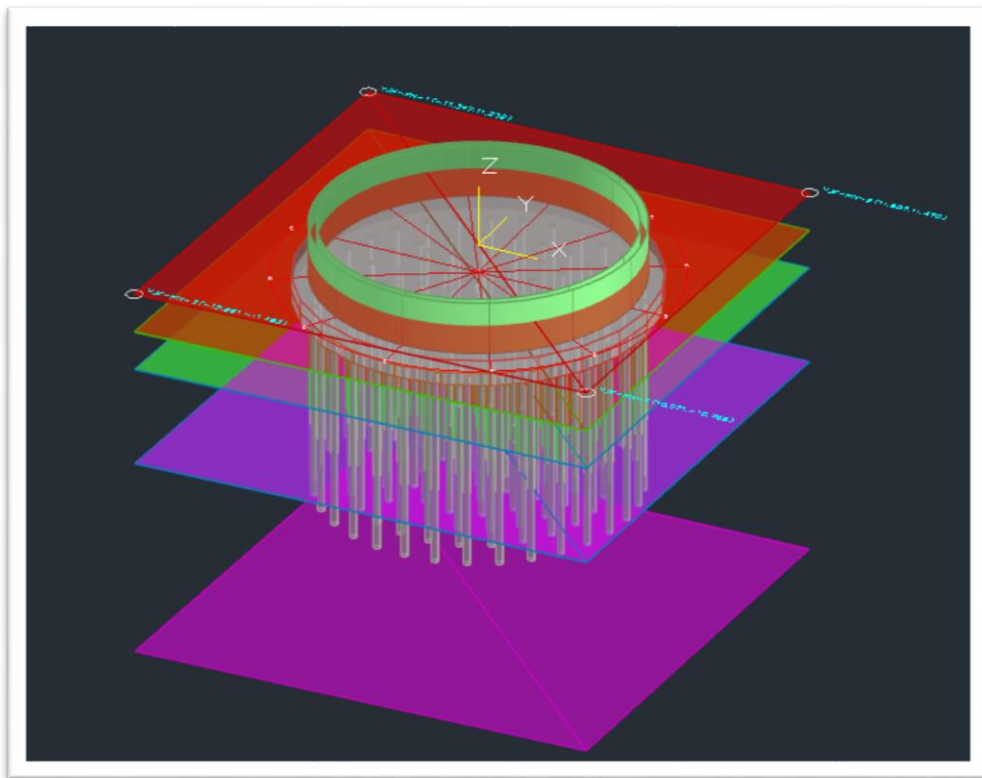
参数说明

**计算**    确定    取消



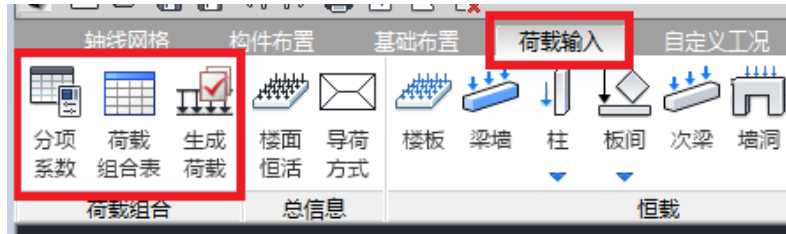


进行沉降的计算时，需输入地质资料，与主程序操作一致，地质资料输入后可以进行土层的三维图查看：

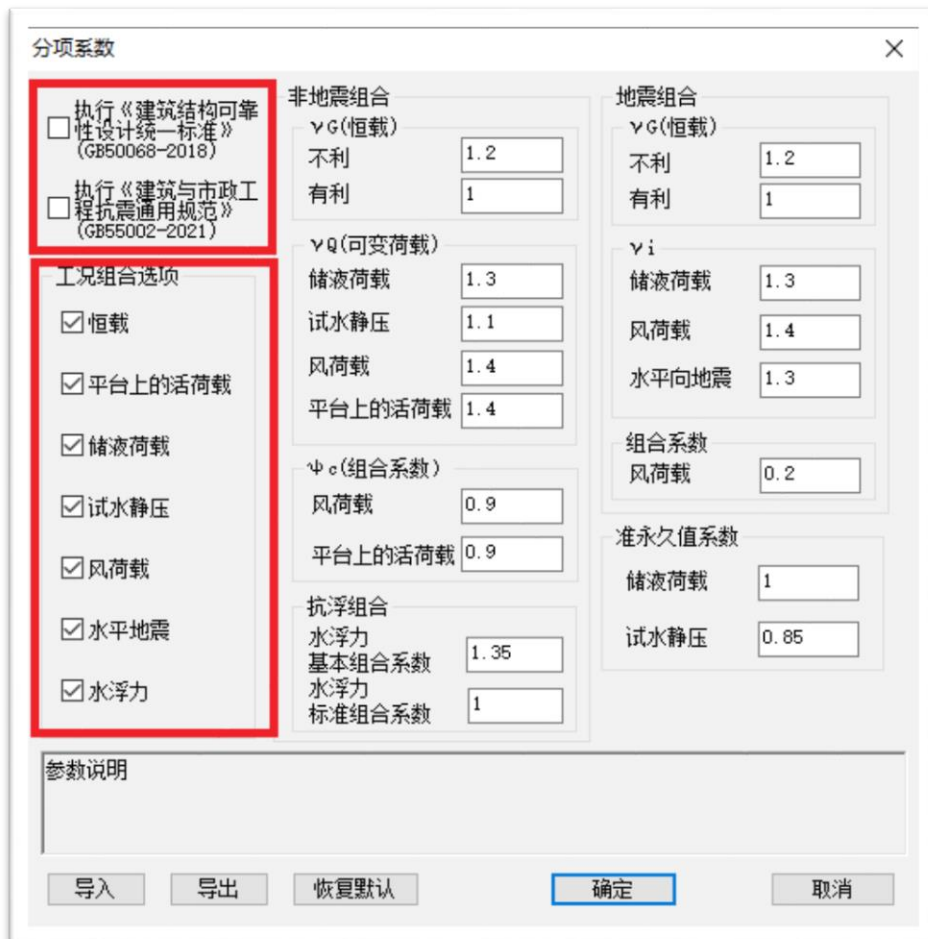


### 三、荷载输入及查看

在荷载输入菜单下，依次分别进行下面“分项系数”、“荷载组合表”和“生成荷载”三个按钮的操作，软件会根据设置自动生成荷载以及荷载组合。



分项系数菜单中，可以对《建筑结构可靠性设计标准》和《建筑与市政工程抗震通用规范》选择是否勾选，相关工况的分项系数会随之改变。还可以对各个工况选择是否考虑，勾选会考虑，取消勾选则不考虑。



荷载组合

工况

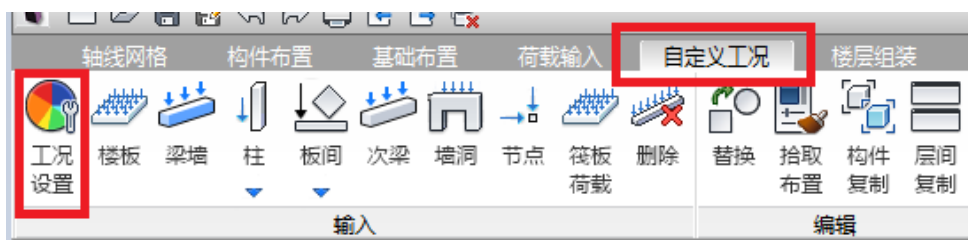
| 序号 | 名称   | 类型  | 重力荷载 | 非地震分项(不利) | 非地震分项(有利) | 地震分项(不利) | 地震分项 |
|----|------|-----|------|-----------|-----------|----------|------|
| 1  | 储液荷载 | 活载  | 1    | 1.3       | 0         | 1.3      | 1    |
| 2  | 试水静压 | 活载  | 0    | 1.1       | 0         | 1.2      | 1    |
| 3  | +x风  | +X风 | 0    | 1.4       | 0         | 1.4      | 1    |
| 4  | +y风  | +Y风 | 0    | 1.4       | 0         | 1.4      | 1    |
| 5  | X向地震 | X地震 | 0    | 0         | 0         | 0        | 0    |
| 6  | Y向地震 | Y地震 | 0    | 0         | 0         | 0        | 0    |

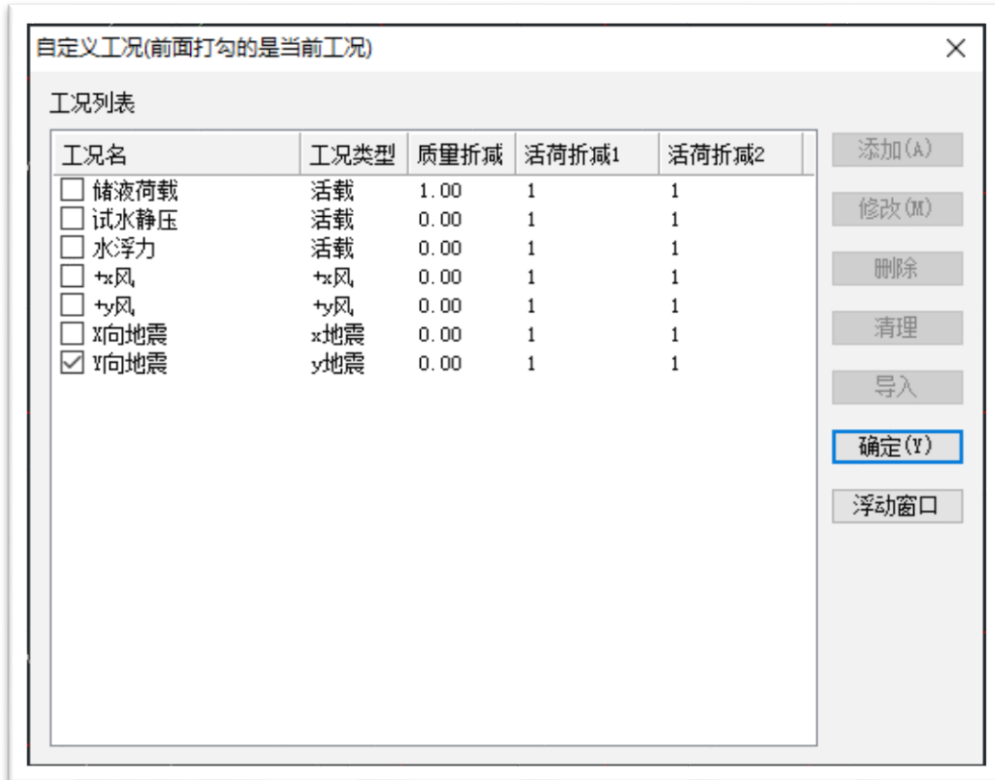
工况组合

| 组合号 | 分析方法 | 恒载  | 储液荷载 | 试水静压 | 活载   | 水浮力 | +x风  | +y风  | X向地震 | Y向地震 |
|-----|------|-----|------|------|------|-----|------|------|------|------|
| 1   | 线性   | 1.2 | 1.3  |      |      |     |      |      |      |      |
| 2   | 线性   | 1   | 1.3  |      |      |     |      |      |      |      |
| 3   | 线性   | 1.2 | 1.3  |      | 1.26 |     |      |      |      |      |
| 4   | 线性   | 1   | 1.3  |      | 1.26 |     |      |      |      |      |
| 5   | 线性   | 1.2 | 1.3  |      |      |     | 1.26 |      |      |      |
| 6   | 线性   | 1   | 1.3  |      |      |     | 1.26 |      |      |      |
| 7   | 线性   | 1.2 | 1.3  |      |      |     |      | 1.26 |      |      |
| 8   | 线性   | 1   | 1.3  |      |      |     |      | 1.26 |      |      |
| 9   | 线性   | 1.2 | 1.3  |      | 1.26 |     | 1.26 |      |      |      |
| 10  | 线性   | 1   | 1.3  |      | 1.26 |     | 1.26 |      |      |      |
| 11  | 线性   | 1.2 | 1.3  |      | 1.26 |     |      | 1.26 |      |      |
| 12  | 线性   | 1   | 1.3  |      | 1.26 |     |      | 1.26 |      |      |
| 13  | 线性   | 1.2 |      | 1.1  |      |     |      |      |      |      |
| 14  | 线性   | 1   |      | 1.1  |      |     |      |      |      |      |
| 15  | 线性   | 1.2 |      | 1.1  | 1.4  |     |      |      |      |      |
| 16  | 线性   | 1   |      | 1.1  | 1.4  |     |      |      |      |      |
| 17  | 线性   | 1.2 | 1.3  |      |      |     |      |      | 1.3  |      |
| 18  | 线性   | 1   | 1.3  |      |      |     |      |      | 1.3  |      |

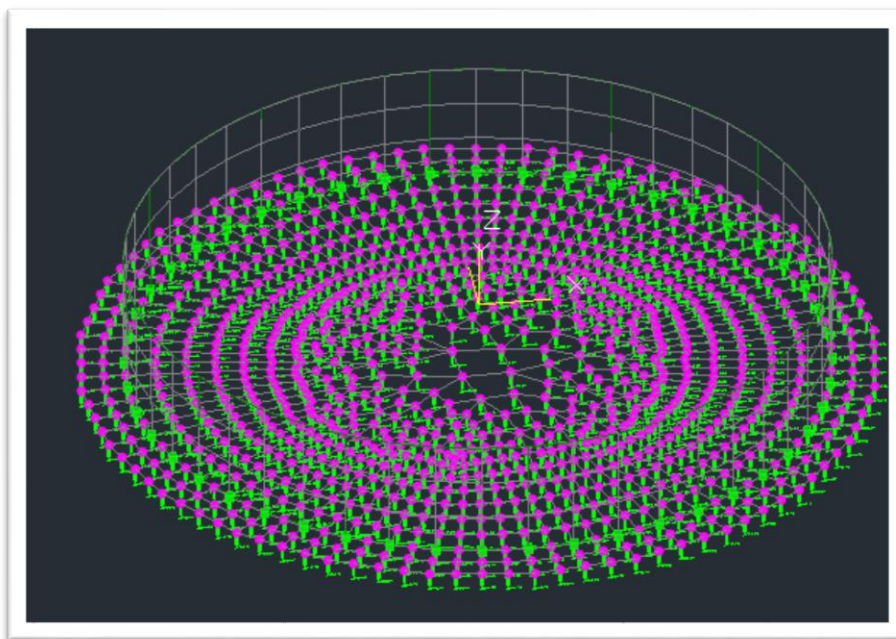
导入EXCEL 导出EXCEL

生成荷载之后，可以到自定义工况菜单下面进行查看，点击“工况设置”后，在弹出的菜单中可以查看各个工况下的荷载值：





计算前，在前处理中点击“生成数据及数检”，并进入三维轴侧筒图中，对计算模型进行查看。软件可以自动在筏板下生成土弹簧，通过勾选“支座”选项后可以查看土弹簧的弹簧刚度。另外还可以对各个荷载工况分别查看荷载的布置情况，这些和主程序都是一致的。



然后点击“计算”，计算完成后自动跳到结果菜单。

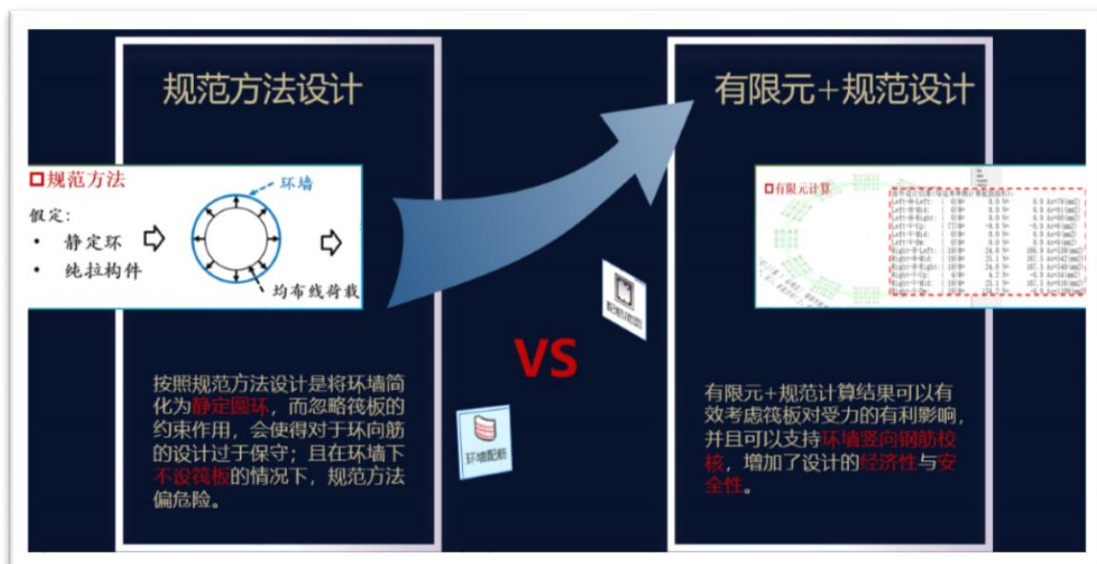
## 四、结果查看

### 1. 配筋结果查看

程序目前提供环墙结果两种计算方式的结果查看，分别是程序默认的有限元计算结果和根据《钢制储罐地基基础设计规范》GB50473-2008 第四章的公式计算结果：

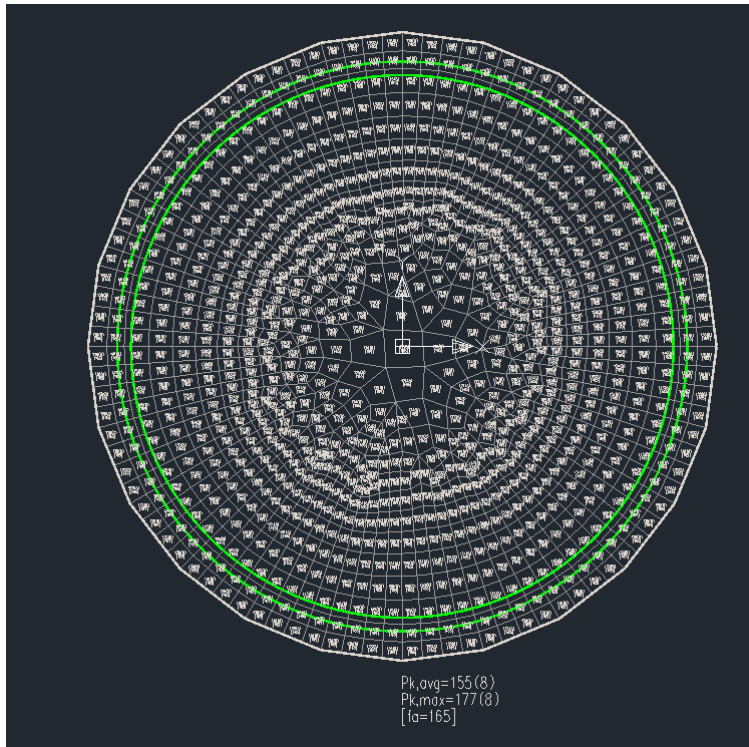


有限元+规范计算两种方式的设计计算结果，可以有效考虑筏板对受力的有利影响，并且可以支持环墙竖向钢筋校核，增加了设计的经济性与安全性。



### 2. 基础计算结果查看

地基承载力验算结果查看，程序会自动考虑前面定义的地基处理方案得到的处理后的地基承载力来进行验算。



另一个是比较重要的沉降结果查看，程序提供了专门的“储罐地基变形验算”的按钮功能，点击后就会弹出一个文本的验算结果，方便查看：

绘图内容

- 沉降等值线图  
(按分层总和法、等效作用法、Mindlin法计算)
- 位移等值线图  
(有限元计算的结果)
- 基础中心点平均沉降及回弹再压缩变形
- 回弹再压缩变形等值线图
- 沉降+回弹再压缩变形等值线图
- 基底附加压力 [kPa]
- 桩顶附加荷载 [kN]

两点沉降差

沉降计算书

储罐地基变形验算

绘图选项

单元边线     云图

数值         等值线数值

等值线       指定界限绘制

小数点保留位数

应用      关闭

```

*----- yjk 地基变形验算 -----*
*
计算时间: 2023年3月30日    当前版本: 5.2.1
储罐周边测点    x坐标(m)    y坐标(m)
1                7.750       0.000
2                0.000       7.750
3               -7.750       0.000
4               -0.000       -7.750
测点按逆时针方向均匀布置

测点组合    整体倾斜
(1, 3)       0.0000
(2, 4)       0.0000

测点组合    罐周边不均匀沉降
(1, 2)       0.0000
(2, 3)       0.0000
(3, 4)       0.0000
(4, 1)       0.0000

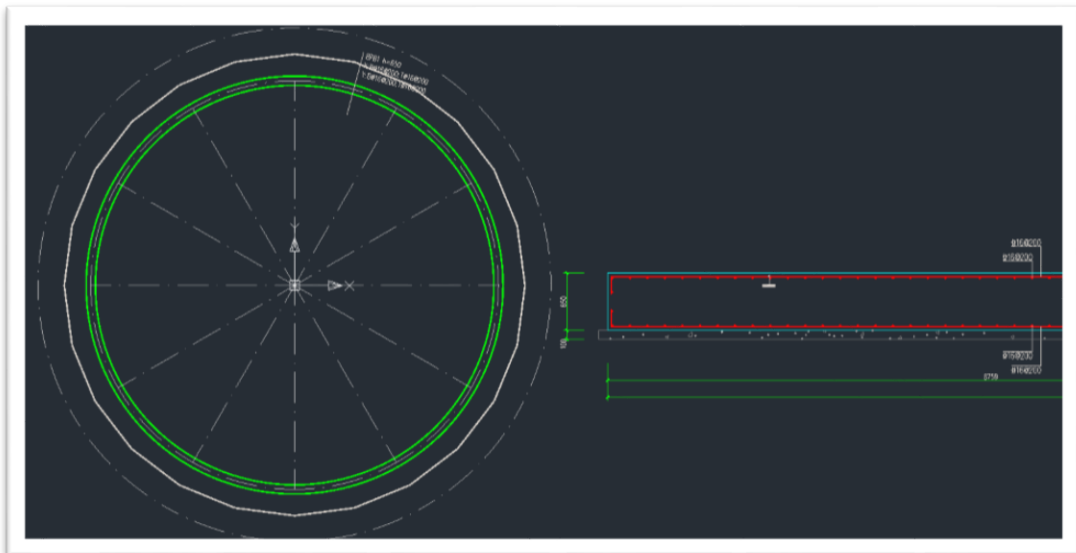
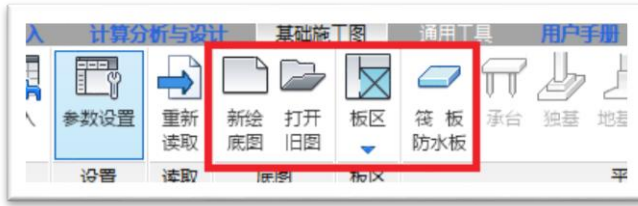
测点    储罐中心与储罐周边的沉降差
1        0.0045
2        0.0045
3        0.0045
4        0.0045

储罐地基变形特征    最大值    允许值    验算结果
整体倾斜            0.0000    0.0070    满足
罐周边不均匀沉降    0.0000    0.0025    满足
储罐中心与储罐周边的沉降差    0.0045    0.0070    满足
          
```

## 五、施工图绘制

软件可以读取基础计算结果自动出基础施工图，点击“基础施工图”的“新绘底图”——“筏板”就可以绘制出筏板基础的平面图，点击“剖面图”——“筏板剖面图”，选择剖切线之后

可以绘制出筏板基础的剖面图：



从上面算例中可以看到，盈建科钢制储罐地基基础设计软件 YJK-STF 是一款集成了上部与基础整体参数化建模、桩复合地基处理、规范与有限元结合计算、基础施工图绘制等多个功能的实用工具，是一款真正体现钢制储罐地基基础设计特点、结合储罐地基基础设计规范及其出图标准的全流程结构设计软件。

## 六、亮点总结

盈建科钢制储罐地基基础设计软件 YJK-STF 有以下六大功能亮点：

## 储罐地基基础结构设计软件功能特点

YJK储罐地基基础设计软件为适应石化储罐的实际应用，匹配了以下六大类特色功能，几乎涵盖储罐设计的全部设计需求，主要为：

### 参数化快速输入模型

支持多种类型、容积储罐的参数化输入方式

### 环形群桩布置

随意选择方形、环形等适用于储罐的群桩布置方式

### 地基处理

支持钢制储罐中5种常见的桩复合地基处理

### 储罐荷载单独设置

专用荷载组合表  
储液荷载、试水静压的自定义工况查看

### 储罐专用沉降计算书

储罐专用沉降计算书进行三种储罐沉降监测验算

### 支持两种环墙设计

规范公式设计  
有限元+规范计算使设计更安全

软件特点

感兴趣的设计师朋友们快来下载学习吧！软件下载地址：<https://dl-cdn.yjk.cn/downjgzq/>

本次算例模型下载地址：<https://pan.yjk.cn/sharing/zMk3V7HfB>