

北京极道成然科技有限公司



操作手册

GDEM静力学专业版

Version 1.0

目 录

总述	- 1 -
简介	- 2 -
操作流程	- 8 -
一、 网络生成	- 8 -
二、 导入模型	- 10 -
三、 施加重力	- 12 -
四、 加载边界条件	- 12 -
五、 修改材料参数	- 15 -
六、 设置相关系数	- 15 -
七、 开挖并划分计算阶段	- 16 -
八、 计算求解	- 16 -
九、 结果分析	- 16 -
实例分析	- 17 -
一、 长城模型	- 17 -
二、 隧道模型	- 28 -
三、 土石混合体边坡模型	- 38 -
基于连续介质力学的离散元方法介绍	- 44 -
一、 CDEM 方法概述	- 44 -
二、 CDEM 基本原理	- 45 -
三、 CDEM 并行化架构	- 47 -
四、 GPU 下典型算例	- 50 -
五、 GPU 计算速度统计	- 53 -
意见反馈	- 55 -

总述

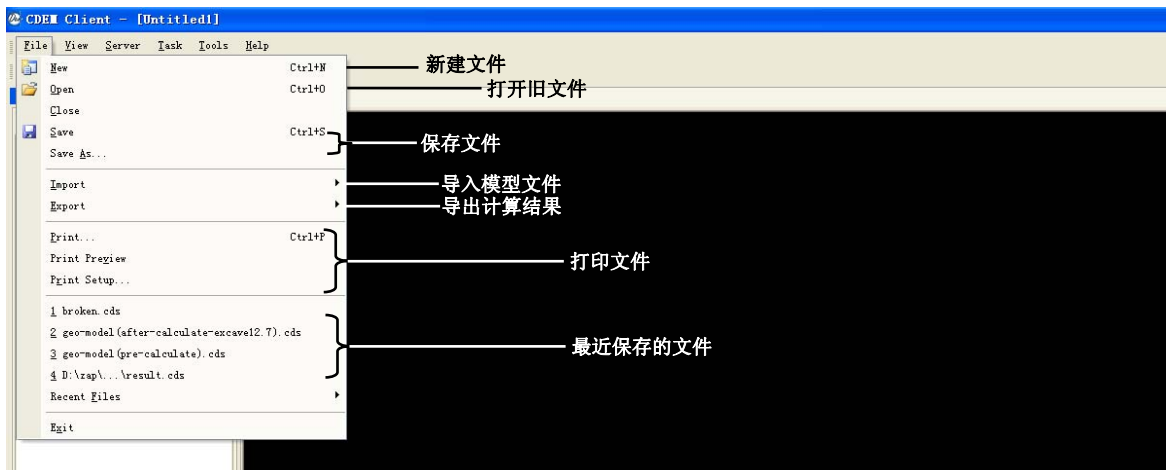
首先，感谢您购买 GPU 化的 CDEM（以后简称 GDEM）静力学专业版（V1.0）计算软件！为了提高您的效率，发挥最大作用，请务必仔细阅读所有使用说明，并妥善保管手册以便本产品所有使用者可随时参阅。

简介

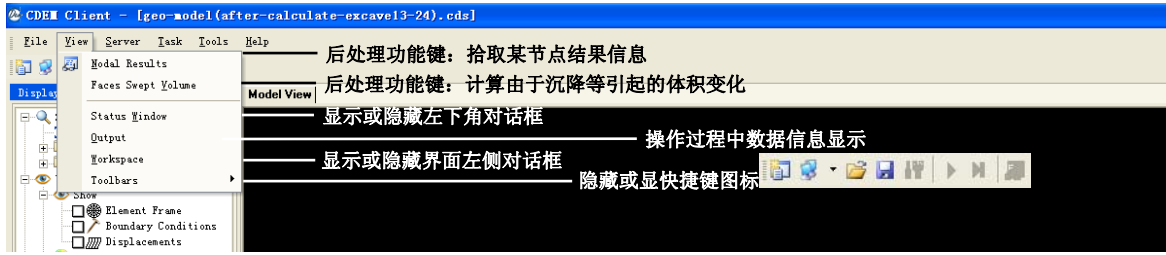
本部分涵盖了使用本软件前您将需要了解的信息，其中包括操作菜单下各图标的名称和功能，以及如何计算和结果分析的各项准备工作。



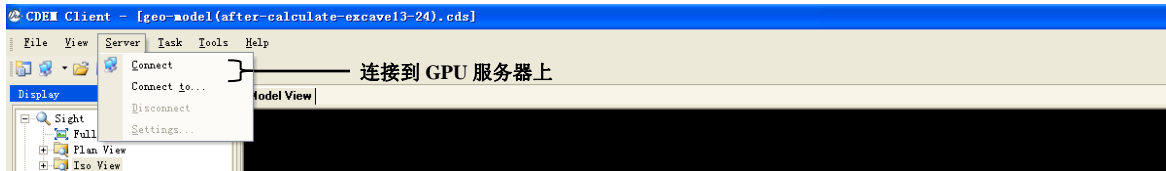
➤ 主菜单“File”工具栏介绍:



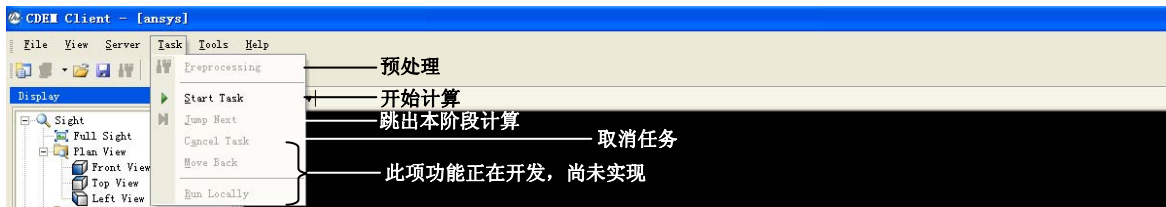
➤ 主菜单“View”工具栏介绍:



➤ 主菜单“Server”工具栏介绍:



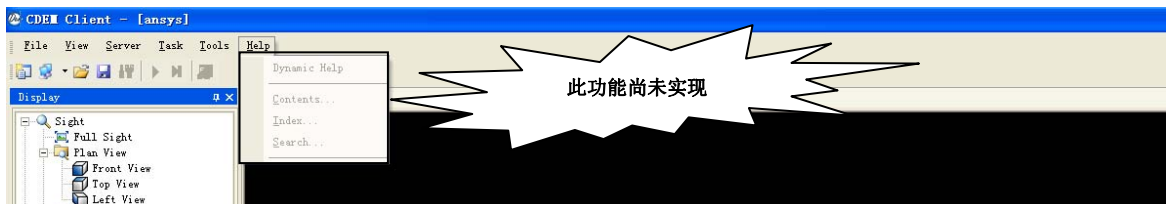
➤ 主菜单“Task”工具栏介绍:



➤ 主菜单“Tools”工具栏介绍:



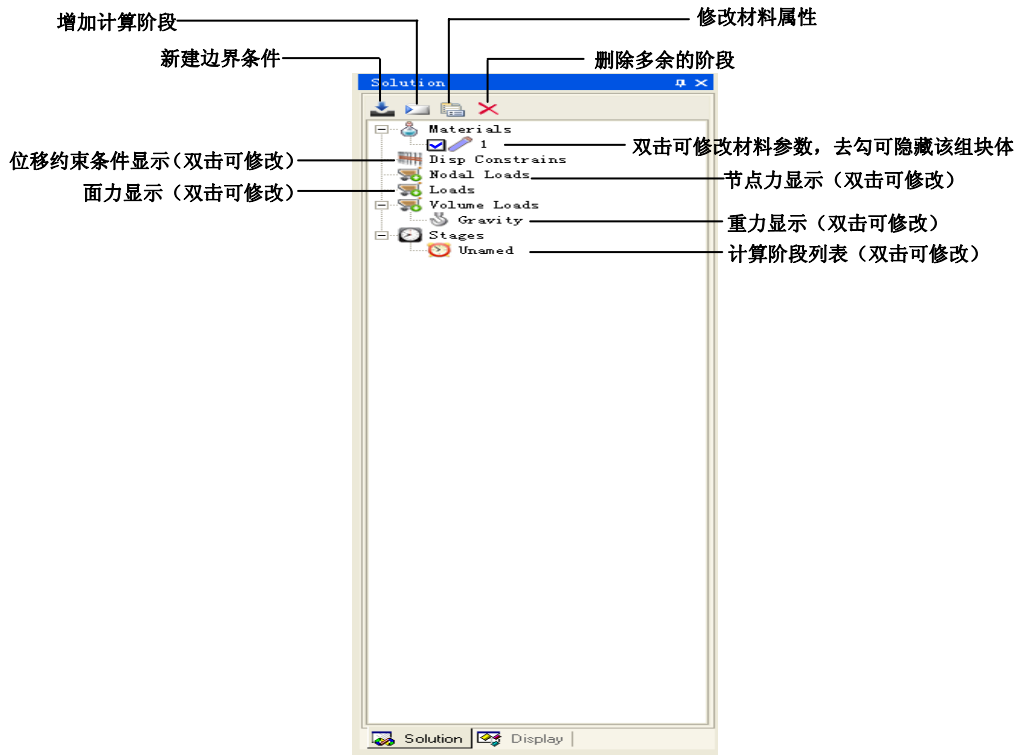
➤ 主菜单“Help”工具栏介绍:




快捷方式工具栏介绍:



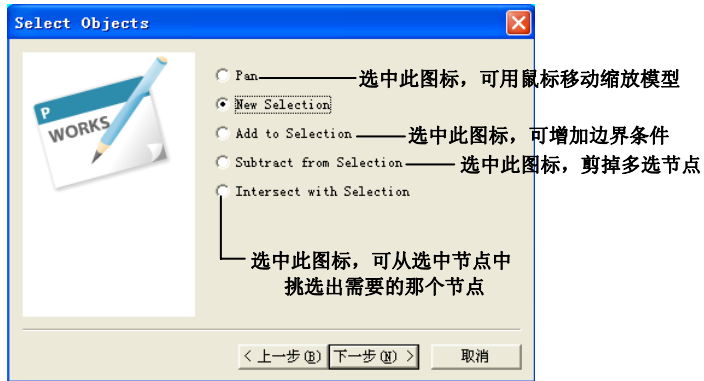
功能控制显示“Solution”工具栏介绍:



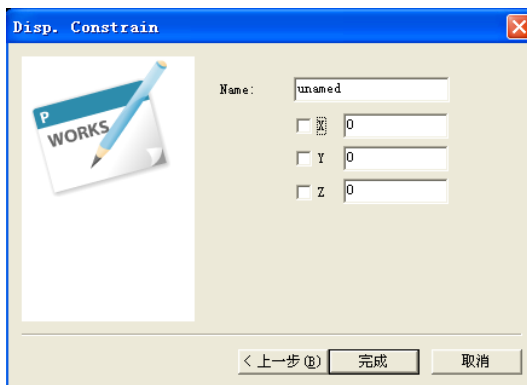
其中, 点击  图标, 可显示如下界面:



若选择默认设置，加载“位移边界条件”，点击“下一步”，得到：




选中边界以后，点击“下一步”，得到如下界面：



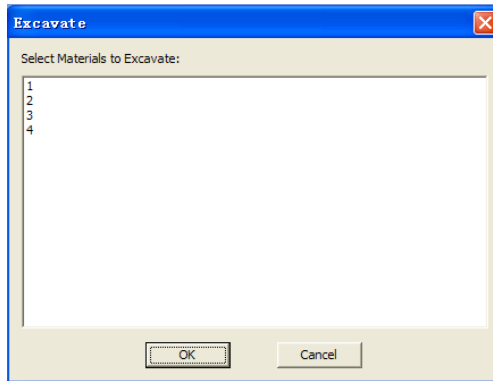
在相应方向前画勾并重命名，最后点击“完成”。

同理，可添加节点力、面力和无反射边界条件。

● 另外，点击  图标，可显示如下界面：

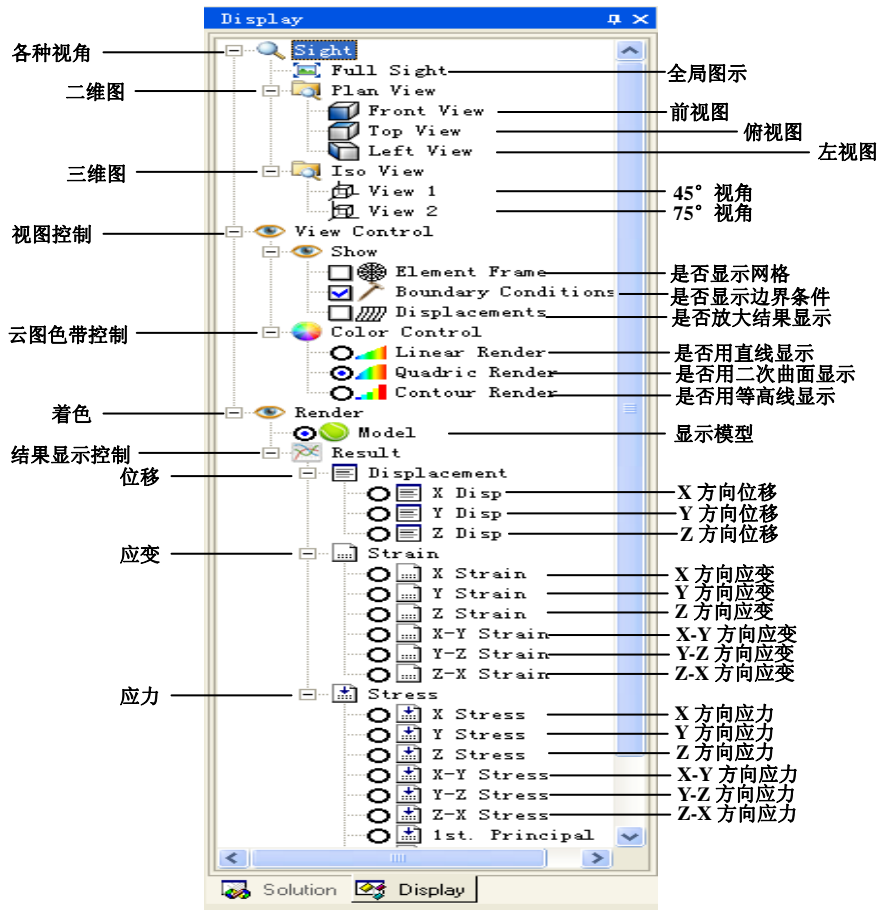


若需要开挖，请点击“Excavate”，进入如下页面：



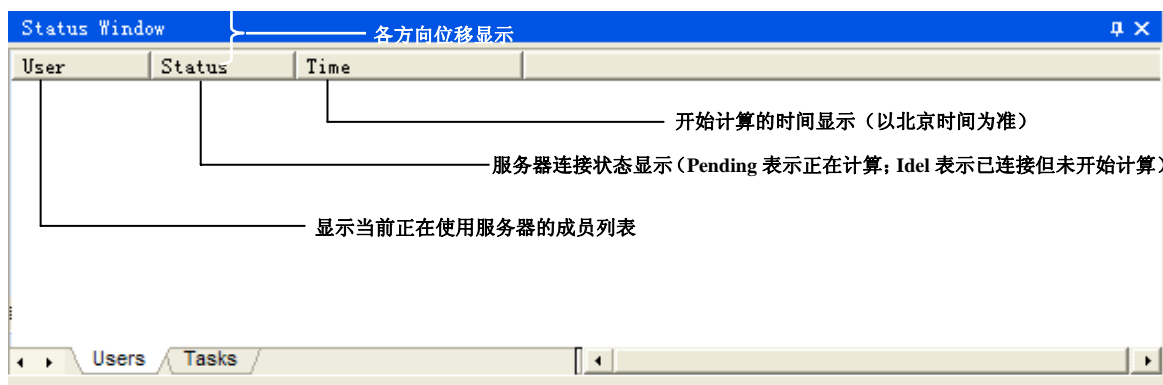
选中需要开挖部分所在的材料组，点击“OK”。完成加载边界的操作。

✚ 功能控制显示“Display”工具栏介绍：

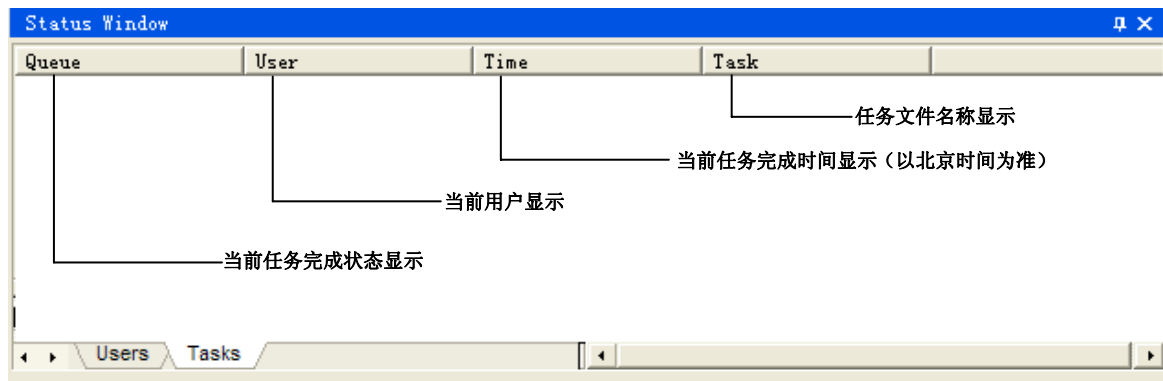


注：主应力及摩尔库伦应力云图显示等功能尚在开发，今后将会陆续补上。

✚ 用户任务显示“Status Window”下“Users”工具栏介绍:



✚ 用户任务显示“Status Window”下“Tasks”工具栏介绍:



操作流程

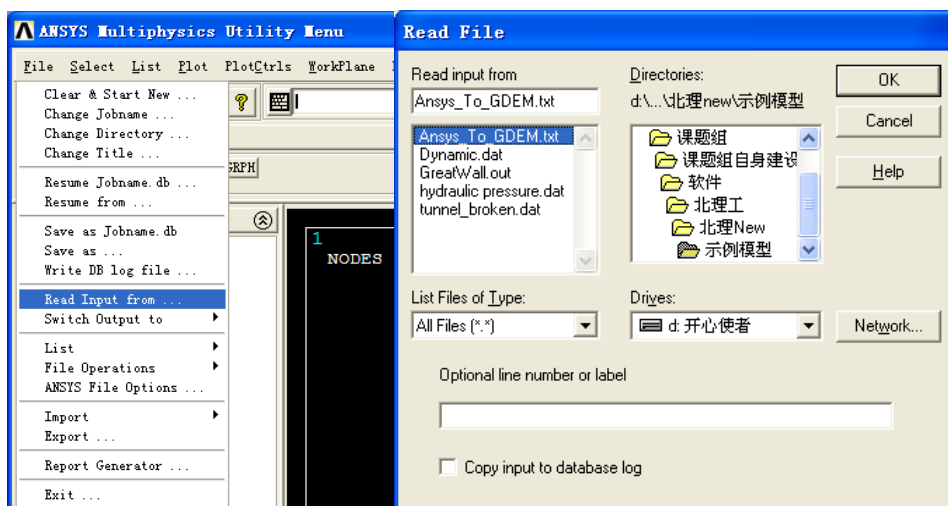
一、 网格生成

GDEM 静力学专业版 (V1.0) 支持从 Ansys 及 Patran 中生成的三维实体网格。
从 Ansys 及 Patran 中输出的实体网格类型及格式要求如下所示:

1、 Ansys 中模型的生成、导出

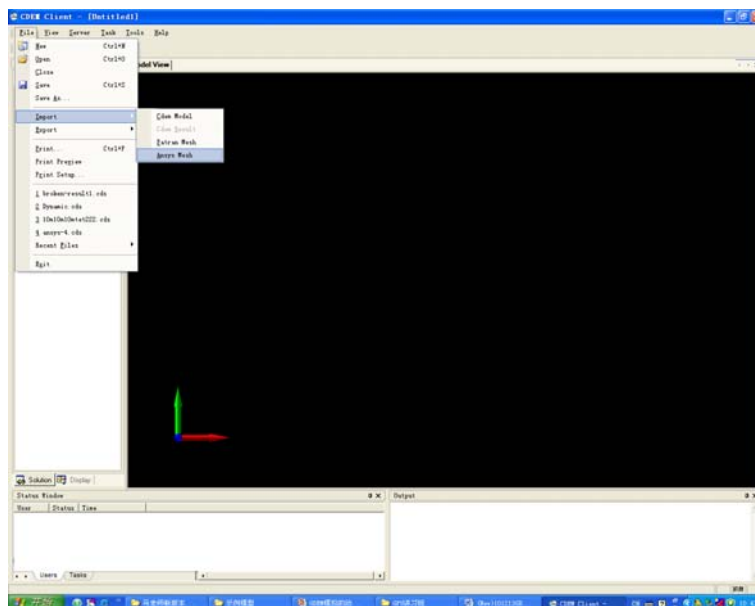
(1) 将示例模型文件夹中的 Ansys_To_GDEM.txt 放入 D 盘根目录下, 打开 Ansys_To_GDEM.txt 可修改存放路径;

(2) 在 ansys 里建立网格(用 solid45 划分), 在 File 菜单下选择 Read input from, 选中 Ansys_To_CDEM.dat 并执行;



(3) 在没有修改存放路径的情况下, 将在 D 盘根目录下出现 ansys.dat 文件;

(4) 此 ansys.dat 的文件中包含了模型的节点序号、节点坐标、单元序号、组成单元的节点序号及单元组等信息, 此文件可被 GDEM 识别, 并通过 File->Import->Ansys Mesh 将 Ansys 下建立的网格导入。



2、Patran 中模型的生成、导出

(1) 在 patran 中建立体网格，四面体用 Tet4 划分，五面体用 Wedge6 划分，六面体用 Hex8 划分，如从面网格拉伸成体网格，需将面网格删除。

(2) 在 File 菜单 Export 下的 Fromat 中选择 Neutral，输出文件名后缀为.out 文件，文件名中英文均可。

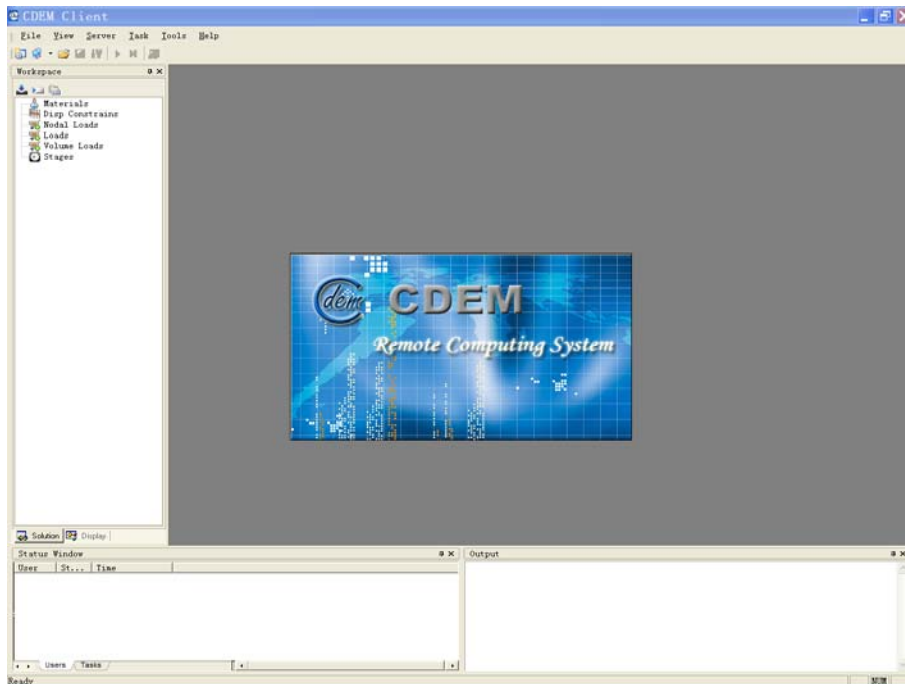


(3) 点击“Apply”后将在设定目录下产生.out 文件，该文件中包含了模型的节点序号、节点坐标、单元序号、组成单元的节点序号及单元组等信息。

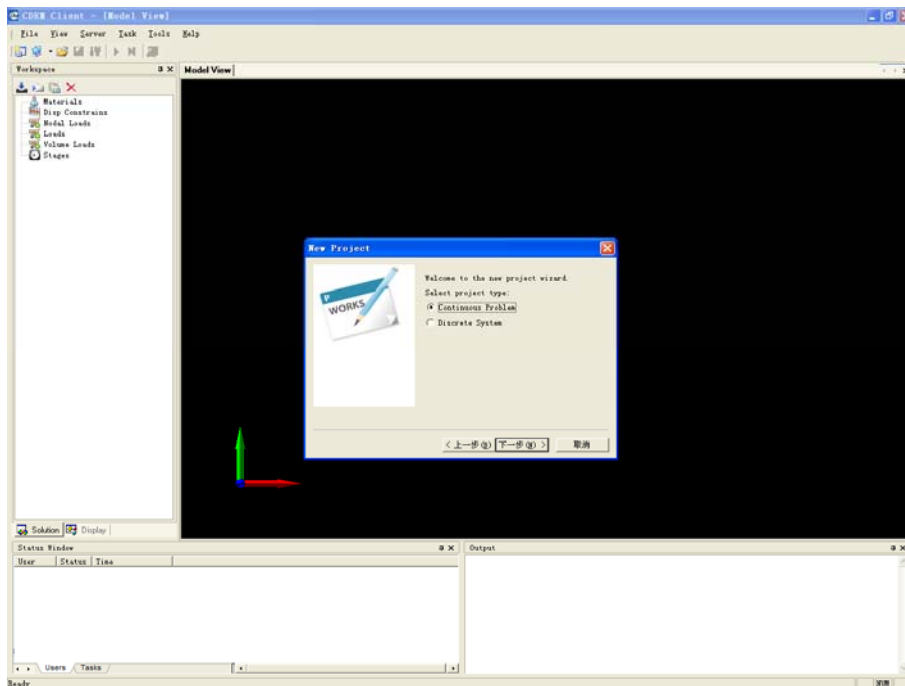
(4) 此后缀为.out 的文件可被 GDEM 识别，并通过 File->Import->Patran Mesh 将 Patran 下建立的网格导入。

二、 导入模型

1、 双击图标“”，打开页面：

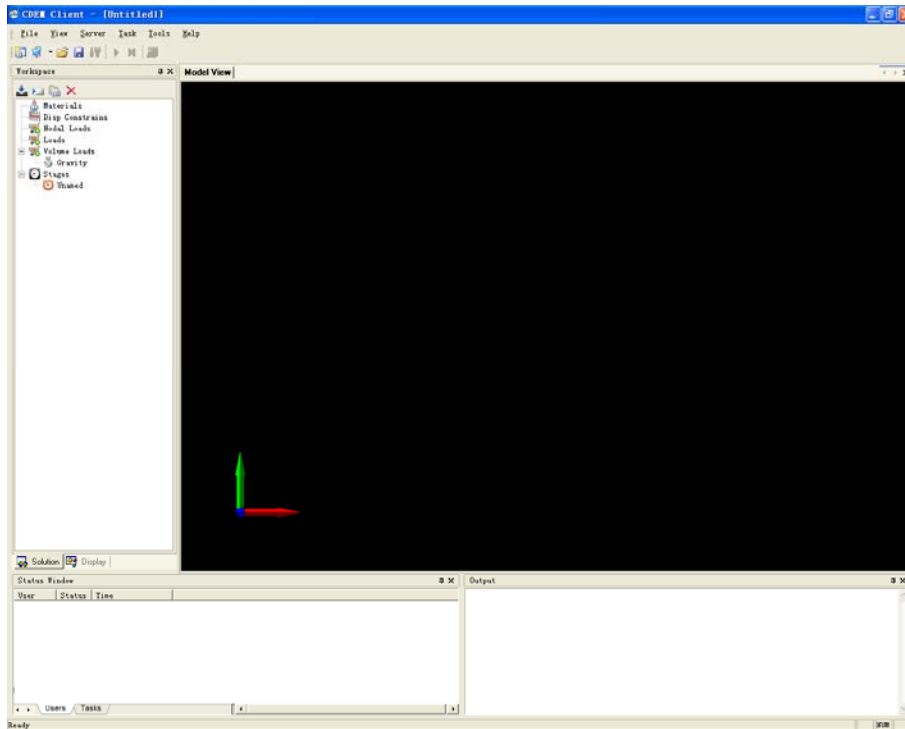


2、 点击左键（或等待 3 秒钟）进入如下页面：

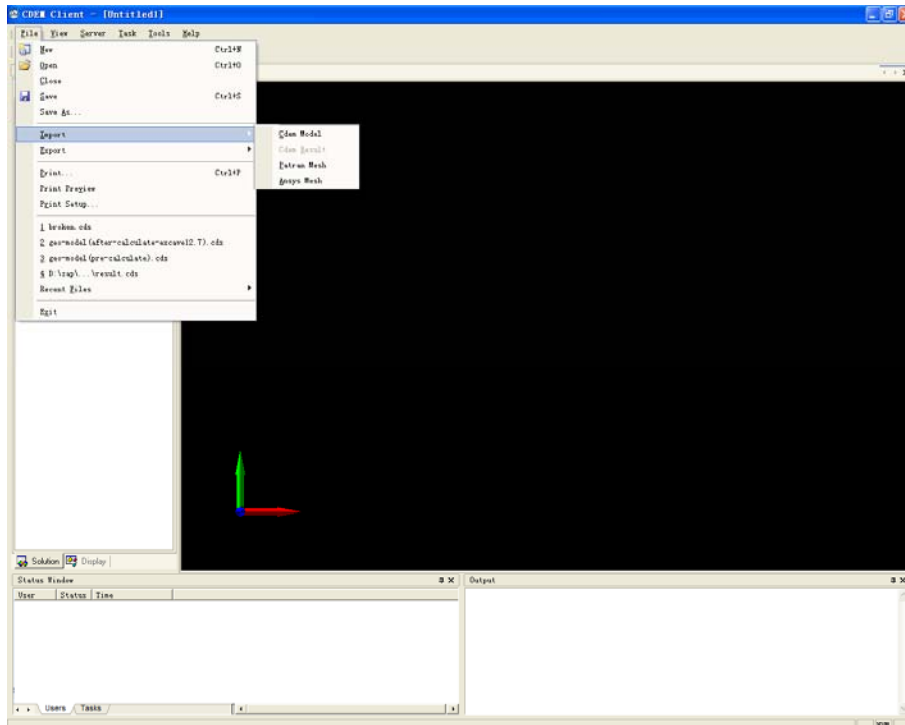


说明：默认为连续模型，若要计算破坏问题请选择离散模型“Discrete System”。


接着点击“取消”，进入如下页面：

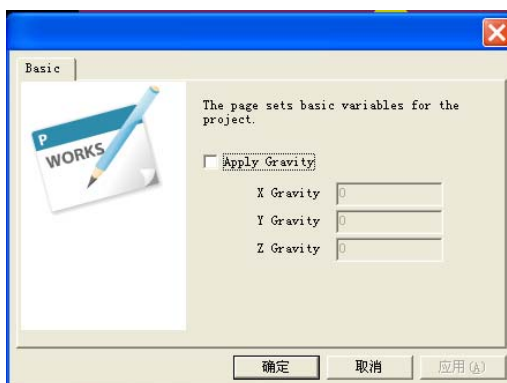


3、调入已经建好的 Cdem、Patran 或 Ansys 模型文件（带网格）：




三、 施加重力

选中“Gravity”并点击中最右边的一个图标（或者双击“Gravity”按钮），然后在“Apply Gravity”前画勾，并在重力方向上填写“-9.8”，确定。（**请注意重力方向及各坐标轴方向**）

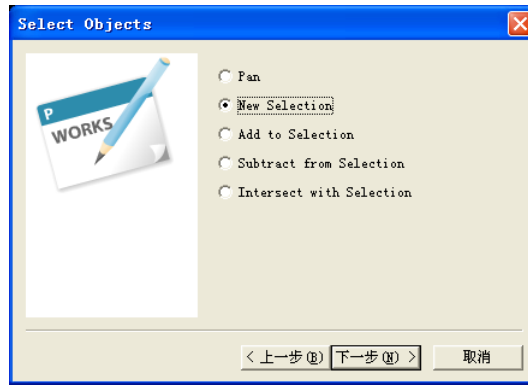


四、 加载边界条件

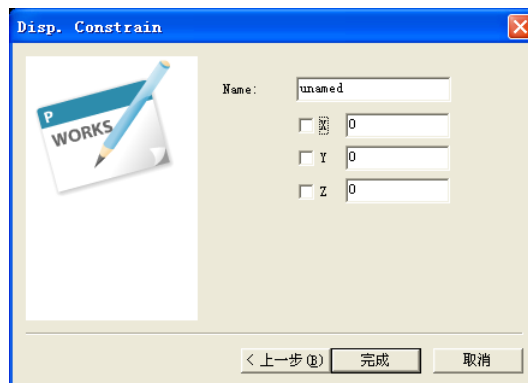
单击图标，用户可以施加位移、节点力、面力等边界条件。



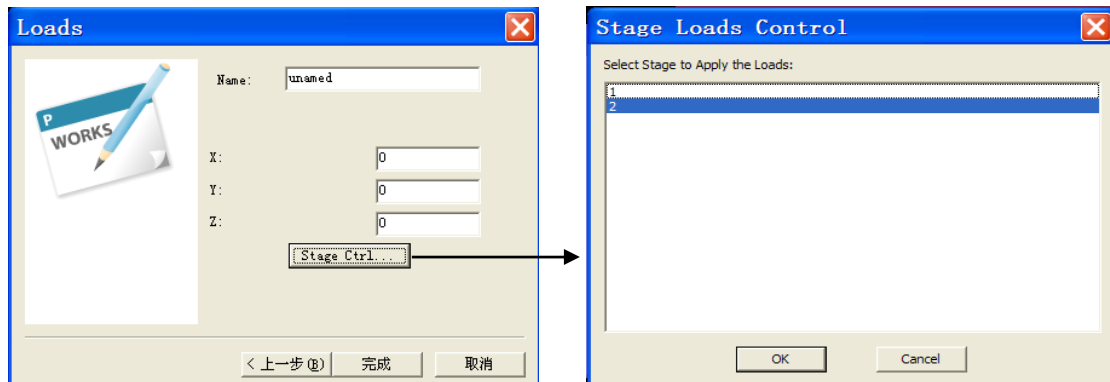
选中上述任意一类边界条件点击下一步后，将会显示如下界面，在此界面下用户可通过鼠标左键完成模型边界条件的施加。“Pan”下用户可任意旋转、放大、平移模型，“New Selection”开始新的选择，“Add to Selection”将本次选择加到已有选择上，“Subtract from Selection”将上次选择的内容与本次选择的内容作“减”操作，“Intersect with Selection”取本次选择与上次选择的交集作为最终选择结果。点击“下一步”用户可设置边界条件的具体信息。



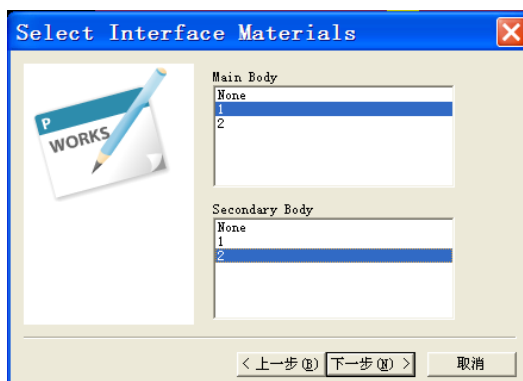
(1) 如进行位移边界条件施加会显示如下界面，用户可对本次选择命名，并选择要施加位移约束的方向及位移约束的具体数值（单位：m）。



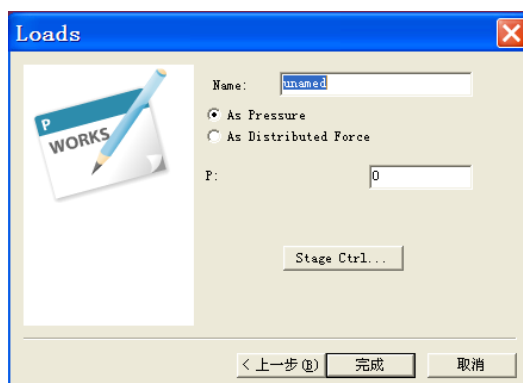
(2) 如进行节点力边界条件的设置，会显示如下界面，用户可输入三个方向的节点力数值（单位：N），并可以通过“Stage Ctrl”按钮选择本节点力边界条件起作用的阶段。



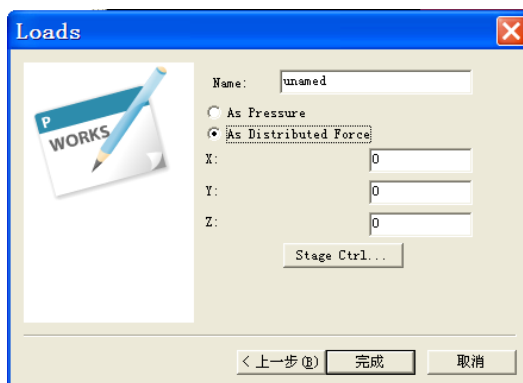
(3)如进行面力施加,将出现如下界面,如“Main Body”选择 1,“Secondary Body”选择“None”表明在组 1 的外表面中选择要施加面力的面;如“Main Body”选择 1,“Secondary Body”选择 2 表明在组 1 和组 2 之间的面上选择要施加面力的面。




点击“下一步”后会出现如下界面,用户同样可以对本次施加命名,如选择“**As Pressure**”,则表明施加法向压力(正值为压、负值为拉,单位:Pa):

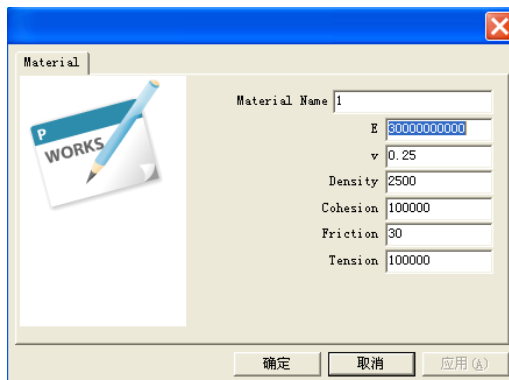


如选择“**As Distributed Force**”,则表示根据整体坐标系施加面上三个方向的面力。“**Stage Ctrl**”与“**Progress**”的操作与节点力的一致,在此处不再赘述。






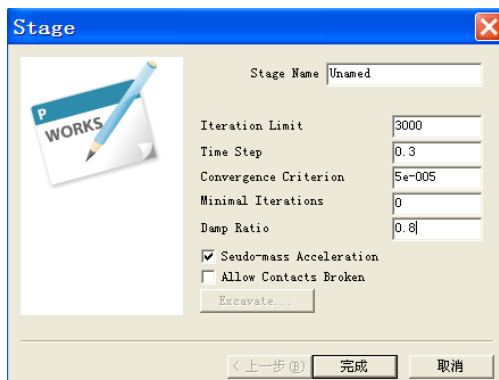
五、 修改材料参数

双击 Material 下的材料编号按钮  1，得到如下对话框，可以修改其中的材料属性（弹模、泊松比、密度、粘聚力、内摩擦角、抗拉强度等）。



六、 设置相关系数


选中“Solution”对话框中“Stages”下的“Unnamed”，并点击    中最右边的一个图标，或者双击“Stages”下的“Unnamed”得到如下画面：

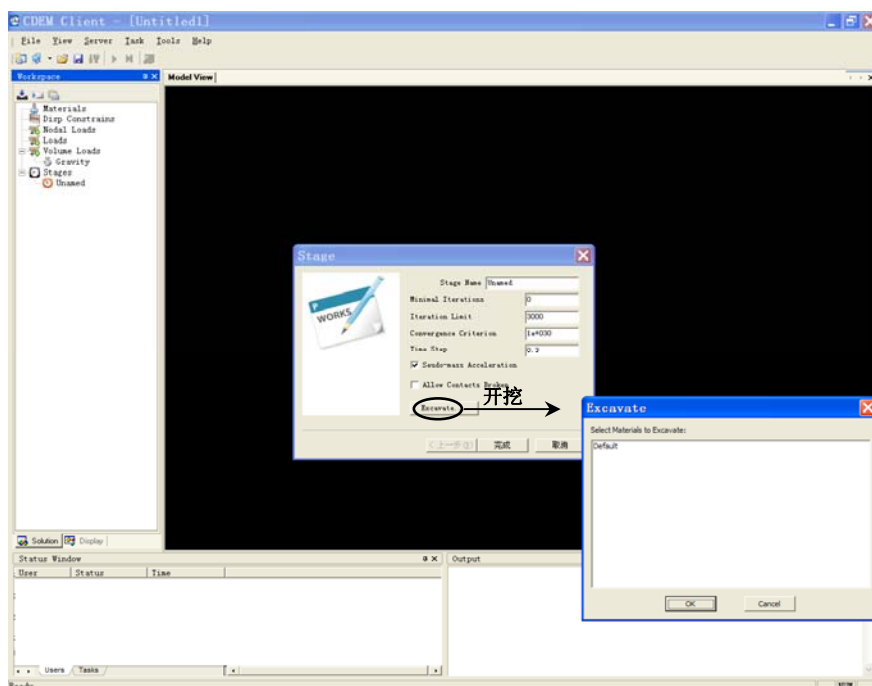


可重命名，可调整其中的参数，如 Iteration Limit（迭代步数）、Time Step（步长）、Convergence Criterion（判断是否收敛的数值——不平衡率）、Damp Ratio（阻尼）。



注：在求解时，达到收敛值系统将自动跳出计算；若已经达到迭代步数，即使没有收敛系统也将跳出计算。

七、 开挖并划分计算阶段

点击  中间那个图标，再点击“Excavate”弹出如下对话框，并选中需要开挖的部分所在材料组。由此可以根据具体问题添加多个计算阶段，还可以进行分步开挖。注：此功能主要针对需要开挖的模型，不开挖则不需要设置。另外，每计算完一个阶段，系统会清除掉上一阶段的位移或变形。



八、 计算求解

点击  图标，以连接到 GDEM，再点击  图标，开始计算。（请注意页面右下角的对话框中的数据显示）

九、 结果分析

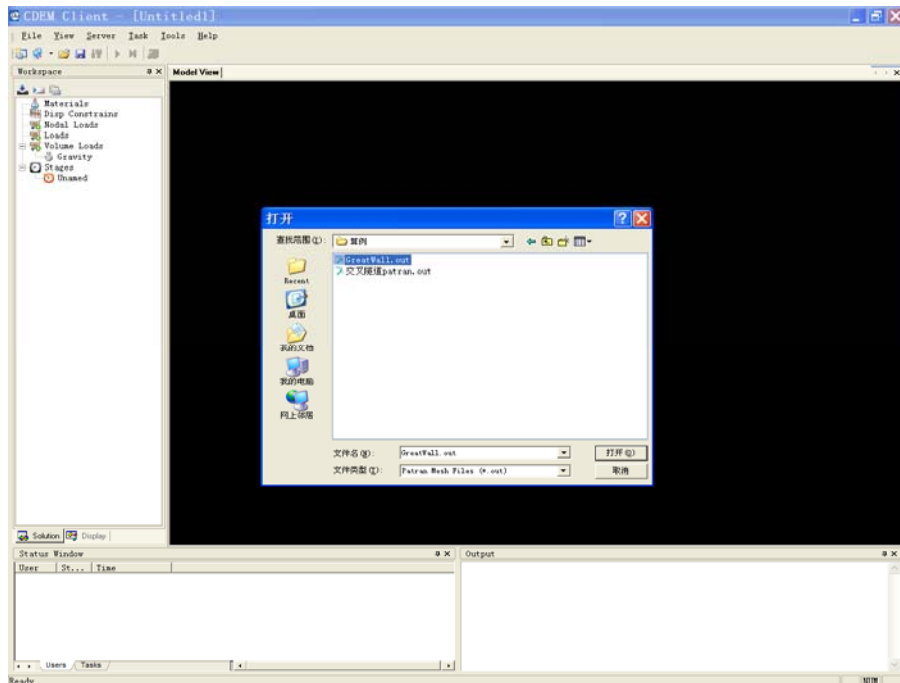
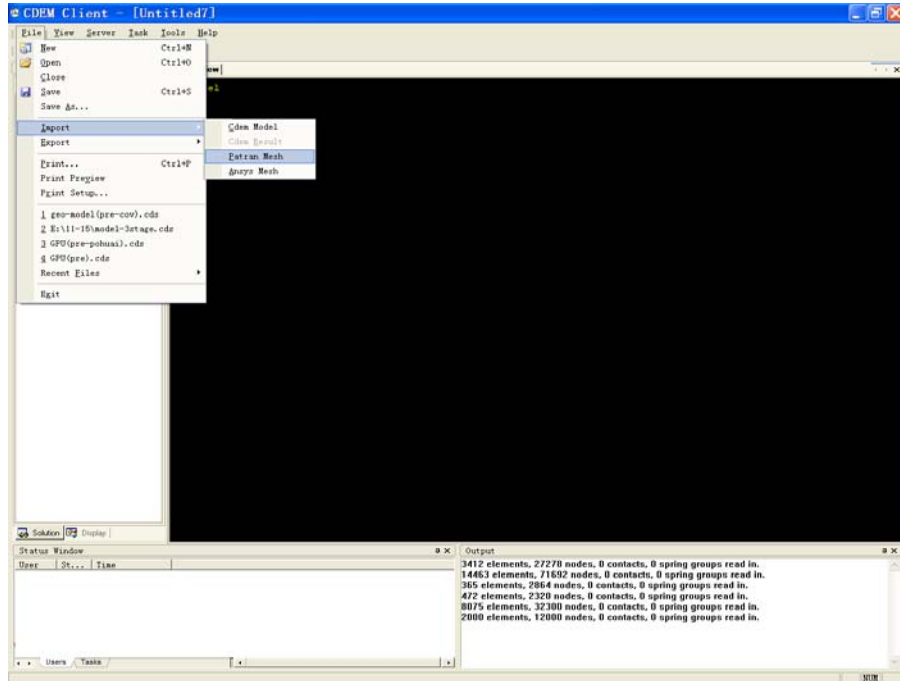
计算完毕，我们可以借助以下手段进行后处理分析：

1. GDEM 自身进行分析。
2. 将结果调入 Patran 或 Tecplot 等软件中进行分析。

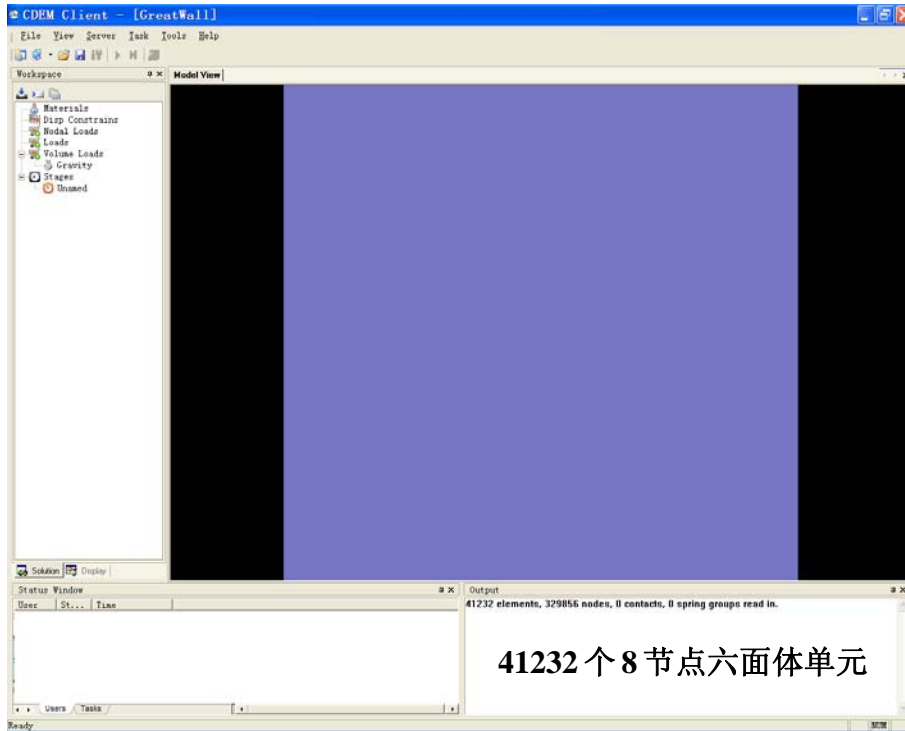
实例分析

一、 长城模型

1. 调入由 Patran 生成的示例模型“GreatWall.out”（注：支持分组）。

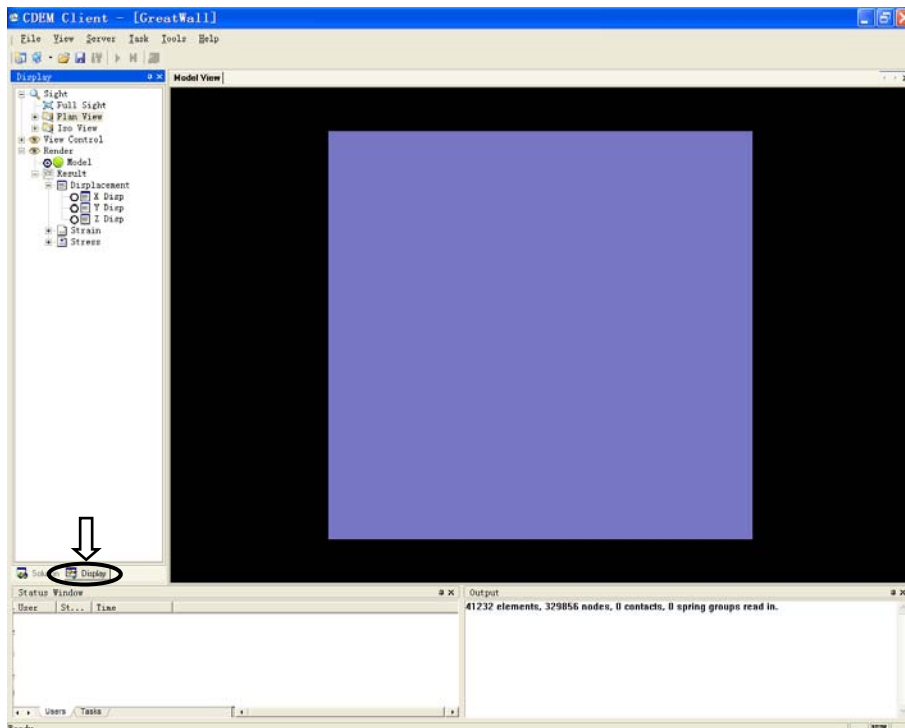


找到并选中文件，点击“打开”，得到如下界面：

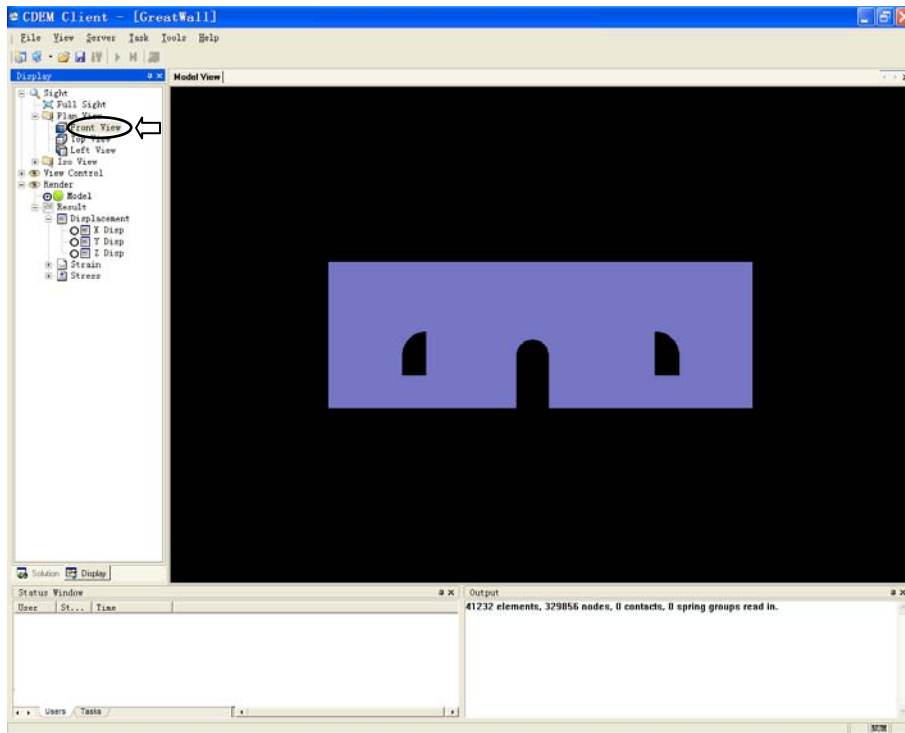


其中，“Output”对话框中已显示出模型的网格数和节点数。

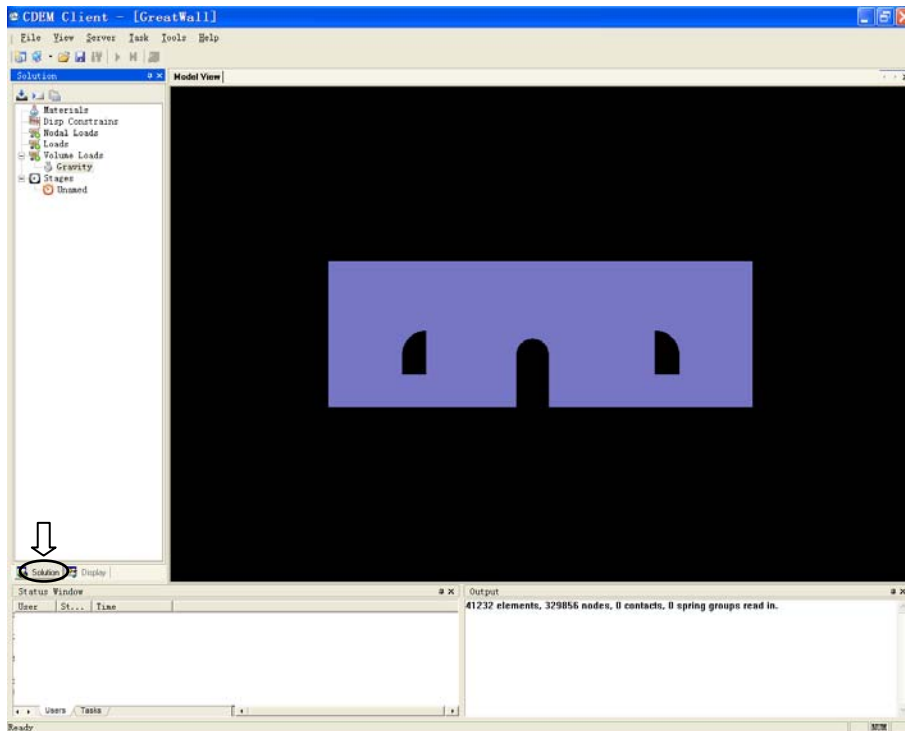
向上滚动滚轮，缩小模型，然后点击“Display”，得到如下界面：




再点击“Plan View”，得到三个选项：前视图“Front View”、俯视图“Top View”、左视图“Left View”。此时点击“Front View”，则得到如下画面：

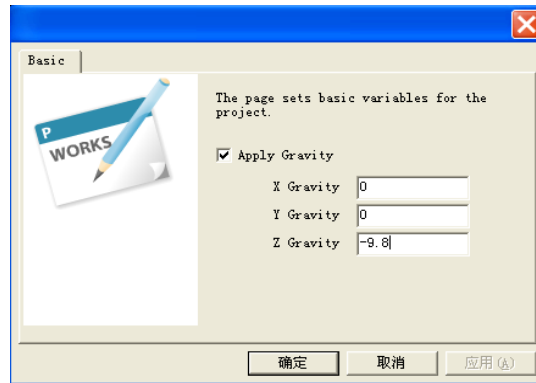


点击“Solution”，返回界面：



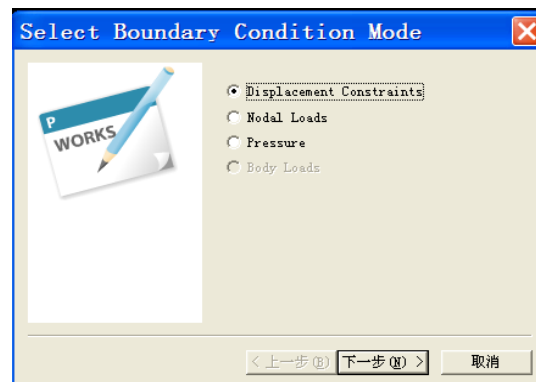
2. 施加重力。

选中“Gravity”并点击中最右边的一个图标，在“Apply Gravity”前画勾，并在“Z Gravity”中填写“-9.8”，得到如下界面，最后确定。（注意：此处注意重力方向别搞错）

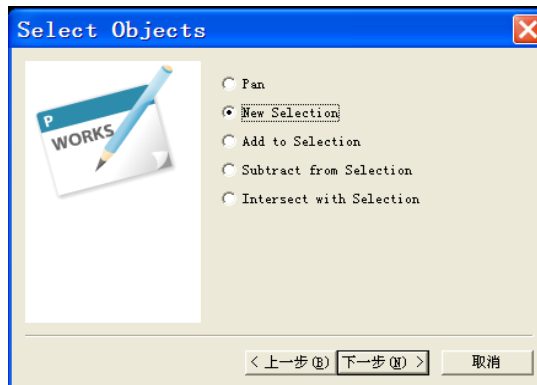


3. 加边界条件。

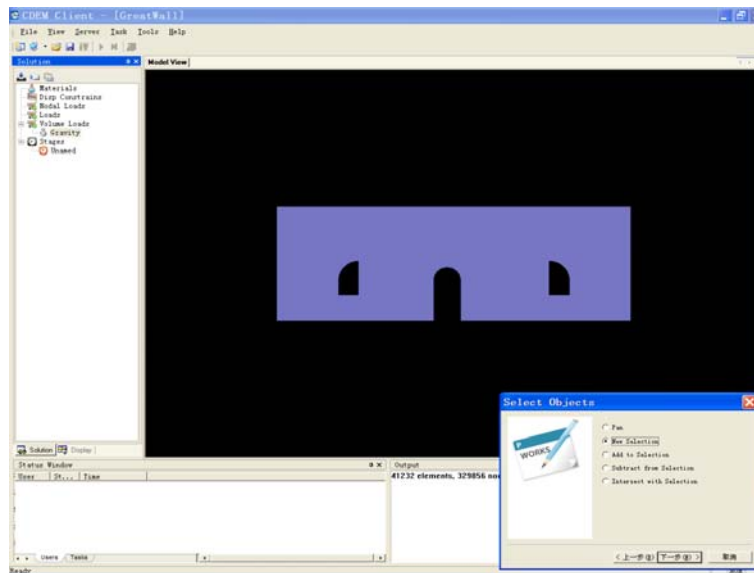
点击中最左边的一个，得到如下界面：



默认为“位移边界”（可根据不同条件加载节点力“Nodal Loads”或面力“Pressure”），点“下一步”：

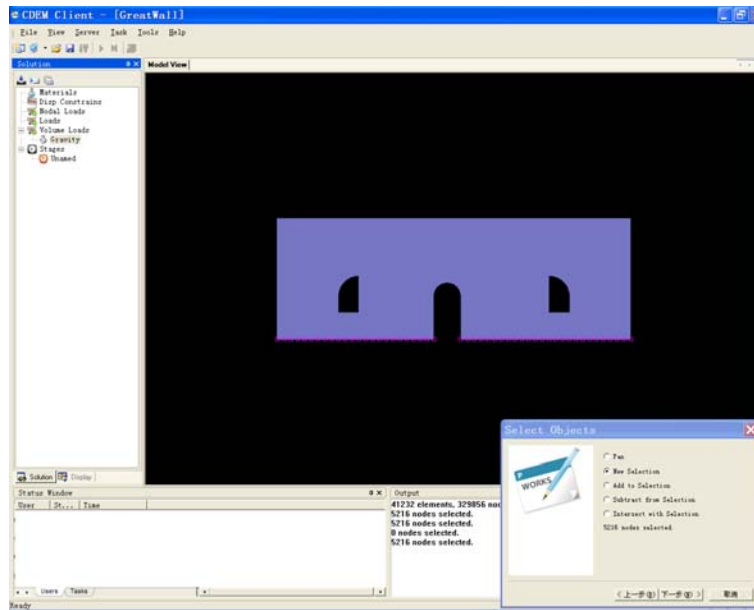


将鼠标点中上述对话框，并拖动使其移出主要区域，以不阻挡观看模型视线为宜。如图：



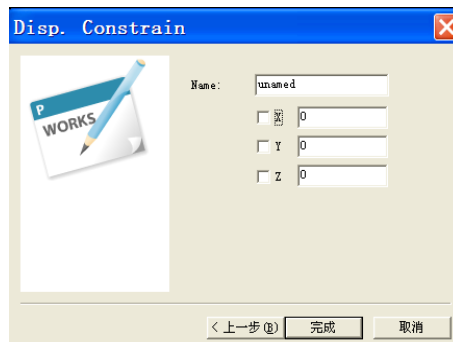
点击鼠标左键，用框选的方式加载“位移约束”，如下所示：



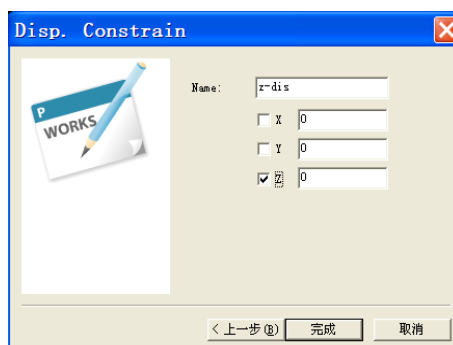


注：此处不要多选节点，以免引起计算误差。若不小心多选了节点，可以先点击“Pan”，然后滚动鼠标滚轮，使其图像放大，并通过选择“Subtract from Selection”减去多选的节点。

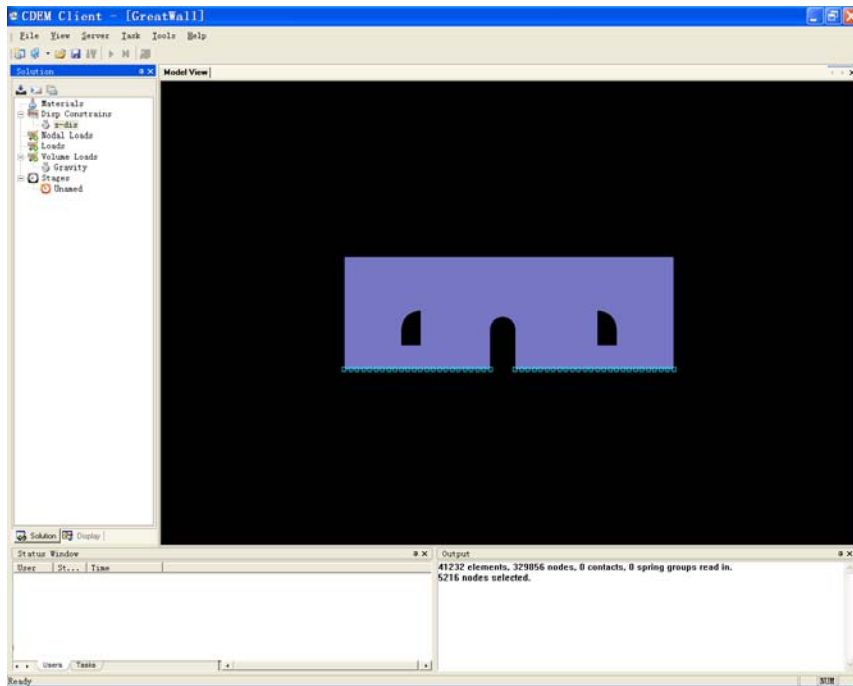
点击“下一步”，得到如下画面：




修改“Name”，如改成“z-dis”，并画勾以表示约束底面在竖直方向的位移。

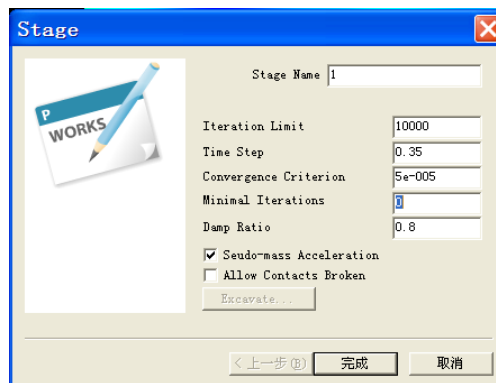


点击完成，得到如下画面，在 Output 对话框中可显示出选中的节点数。



4. 修改参数。



选中“Solution”对话框中“Stages”下的“Unnamed”，并点击中最右边的一个图标，将 Stage Name 中的“Unnamed”改为“1”，表示第一阶段。Iteration Limit 表示迭代步数，针对此算例可将默认的“3000”改为“10000”，时步 Time Step 改为 0.35，其他参数暂不做修改，最后点击完成。得到如下画面：

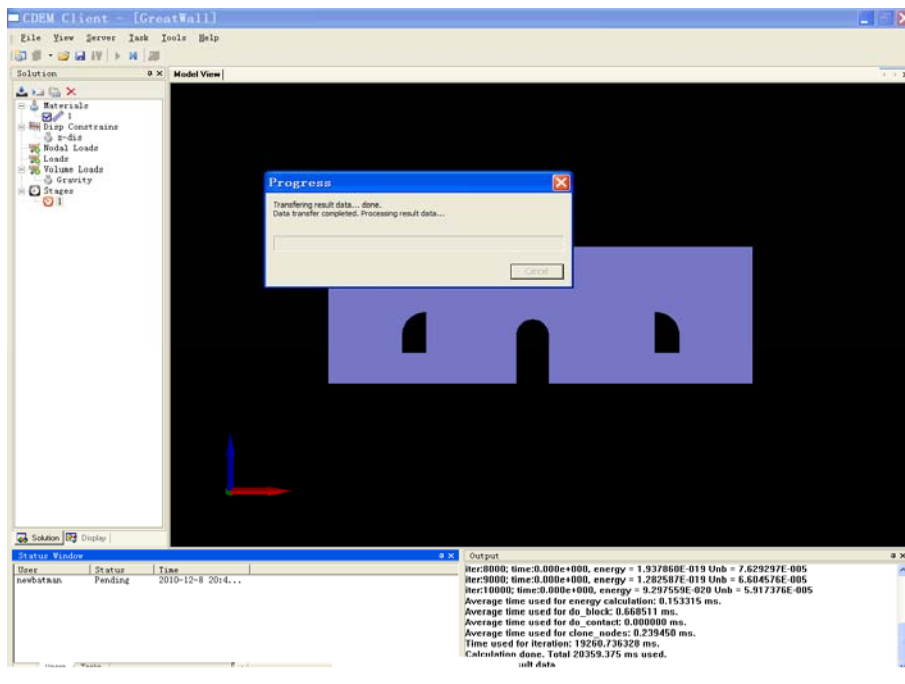


值得说明的是：Time Step 表示步长，在今后的计算中需根据不同情况做必要修改，连续模型一般在 0.1-0.5 之间取值。

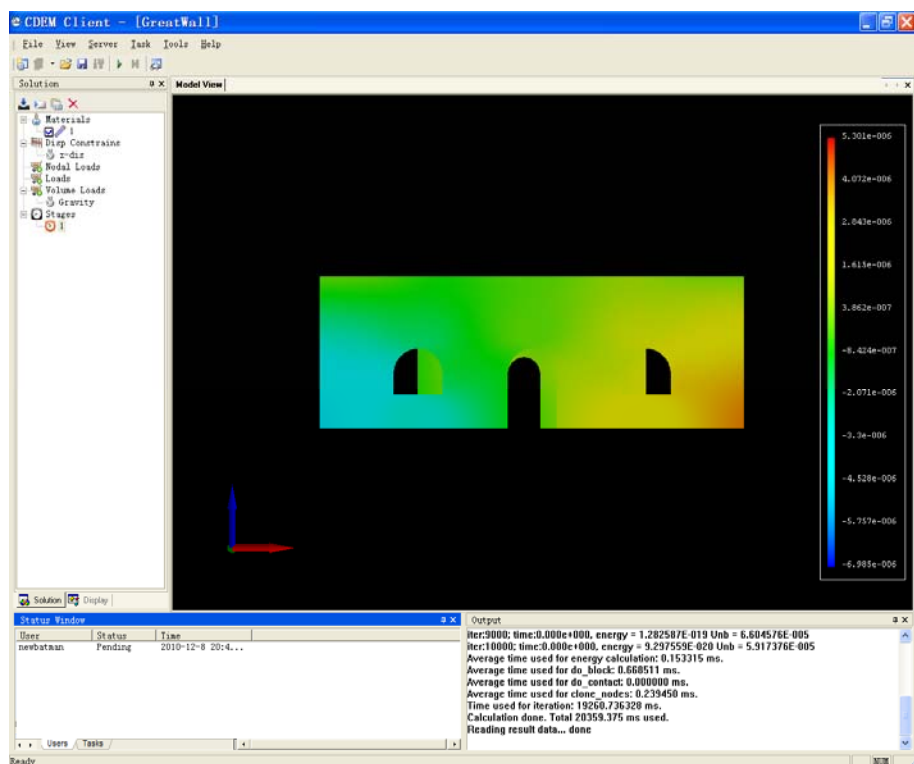
另外，“Seudo-mass Acceleration”表示虚质量，是将所有单元的真实质量取平均值得到的，可缩短收敛时间，主要适用于静态问题，做动态问题时不要选择。

5. 求解计算。

点击  图标，以连接到 GDEM，然后点击  图标即可开始计算。计算过程中的图像显示如下：




计算结果输出显示如下：

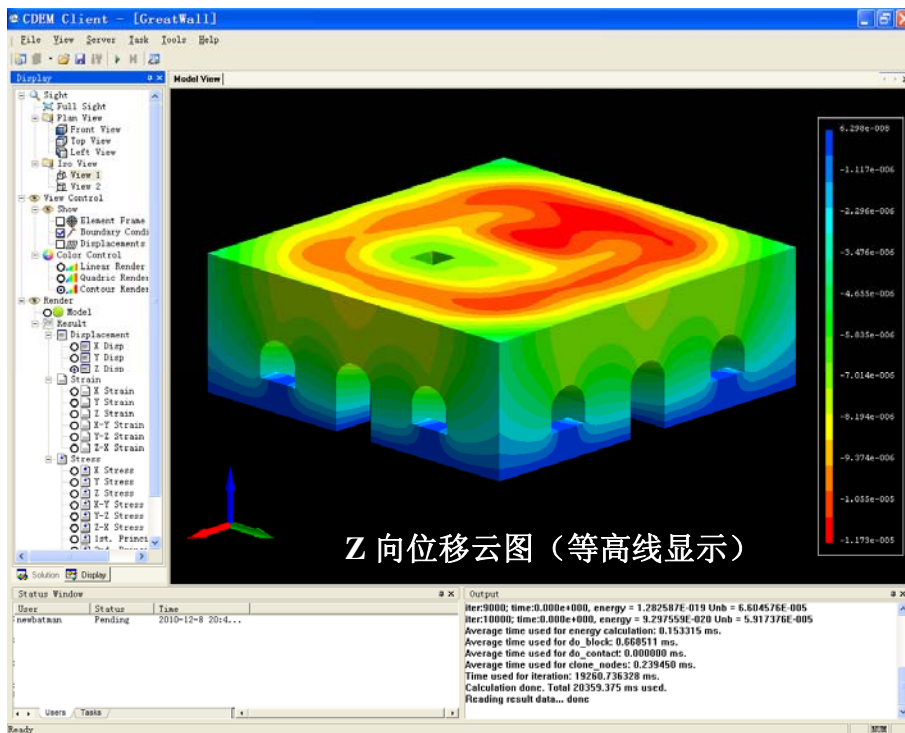
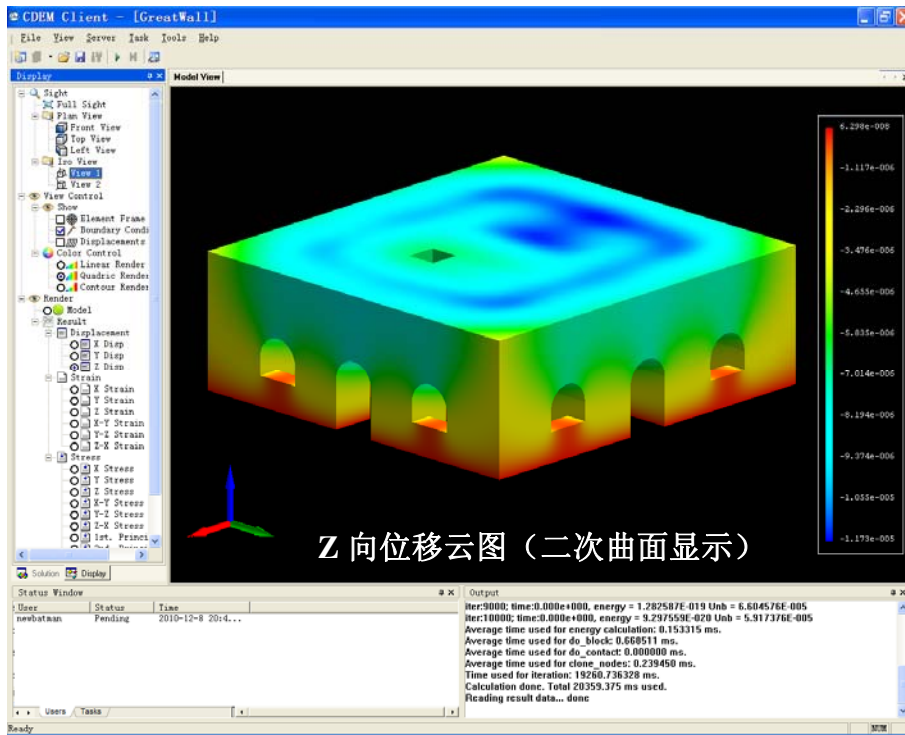


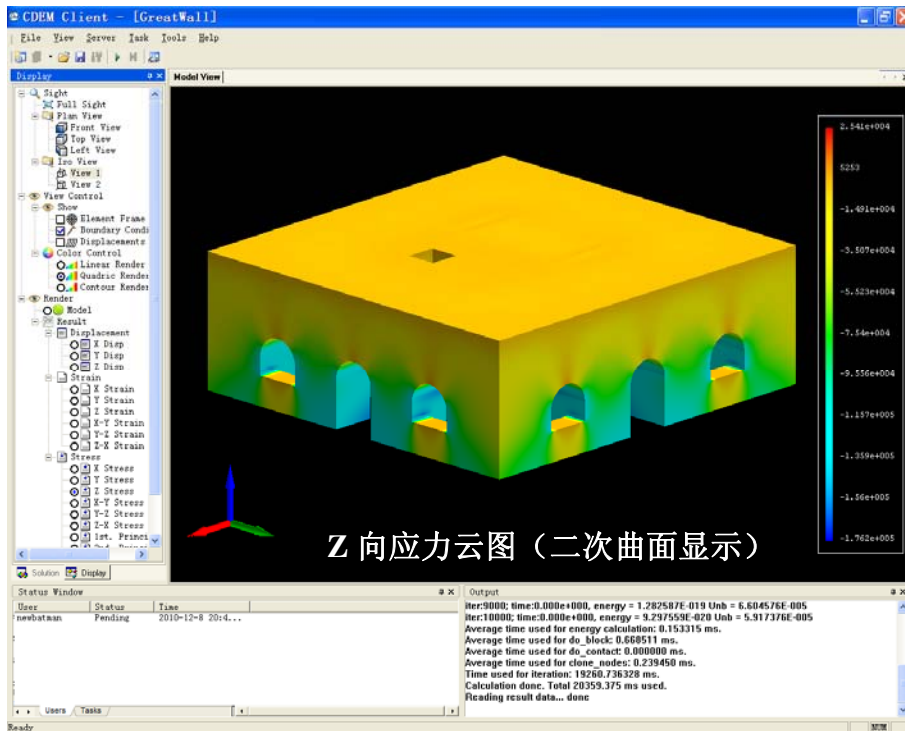
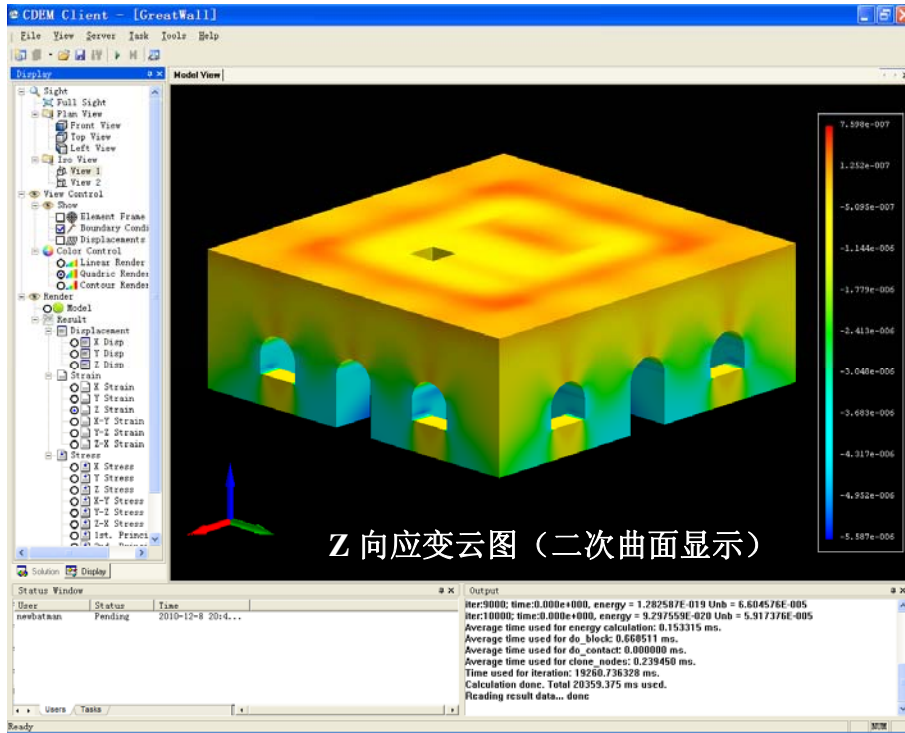
6. 后处理。

计算完毕，我们可以借助以下手段进行后处理分析。

(1) GDEM 自身进行后处理。

在“Display”窗口下，点击“Render”再点击“Result”可以得到各个方向上的位移、应力、应变云图。还可以变换色带、调整位移的比例因子（在图标  Displacements 前画勾，填写放大倍数）等。以分析竖直方向位移、应变、应力为例，得到如下云图：

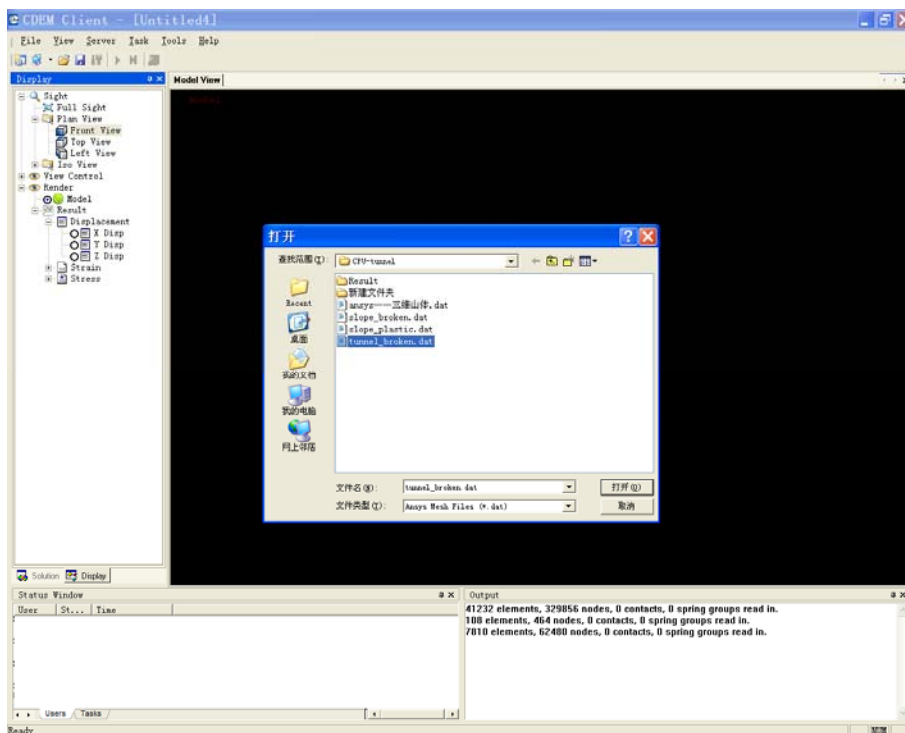
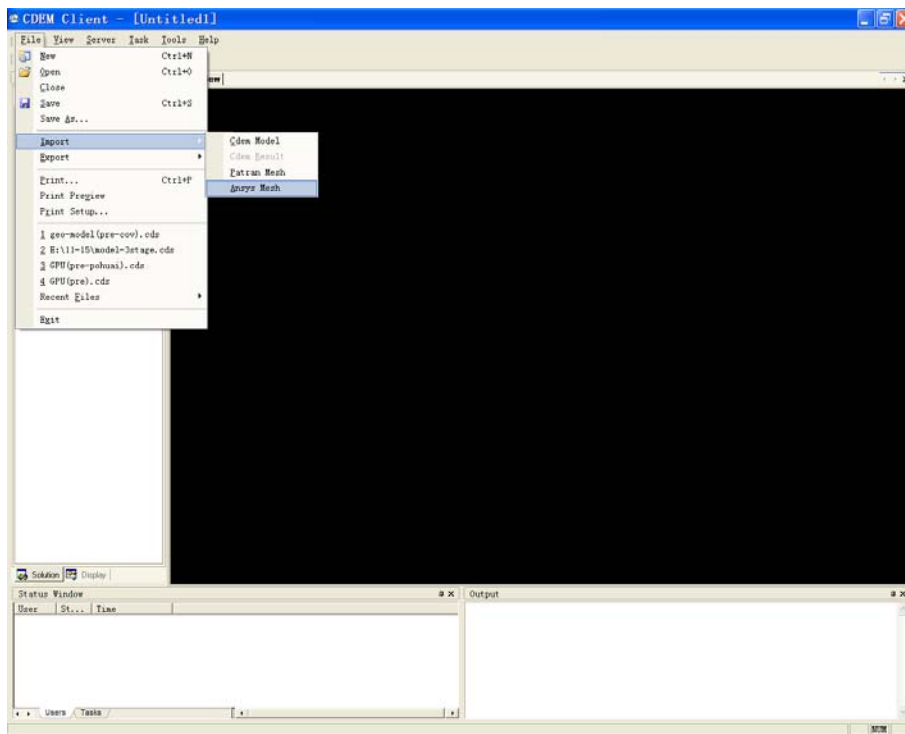




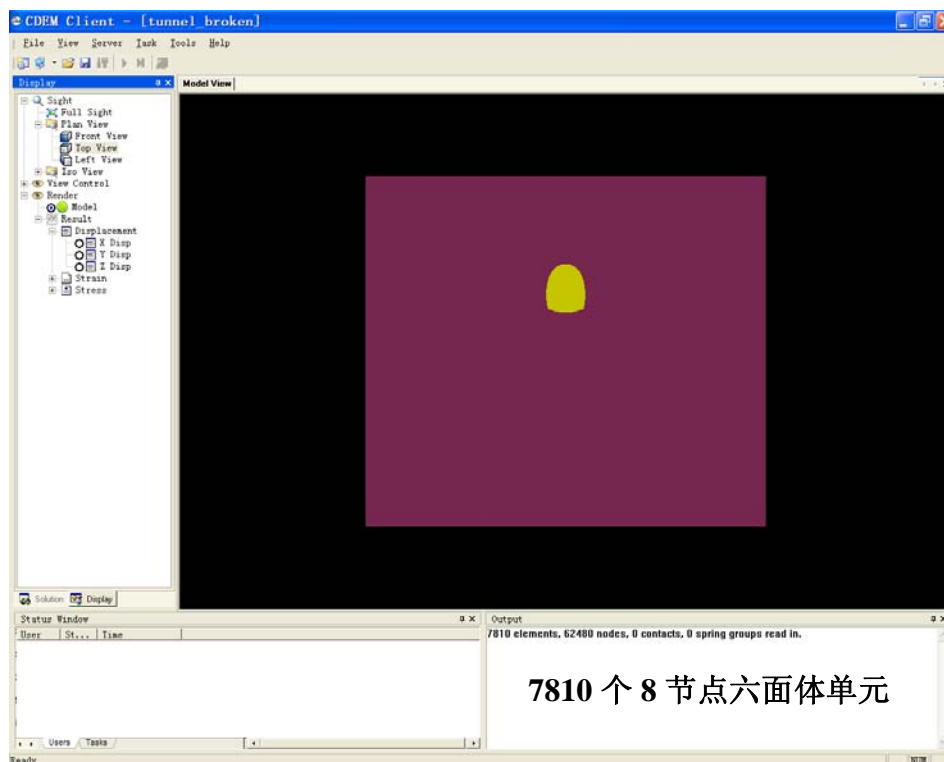
(2) 将结果导入 Patran 或 Tecplot 等软件进行后处理。(略)

二、 隧道模型


1. 导入由 Ansys 生成的示例模型“tunnel_broken.dat”(注: 支持分组)。

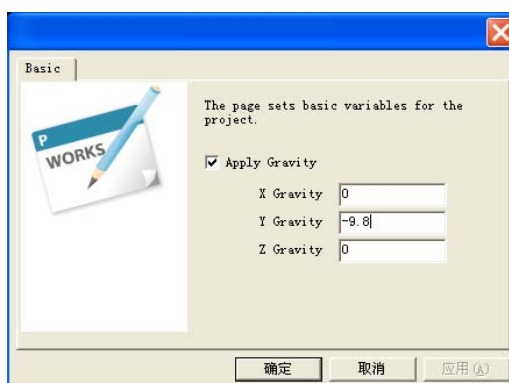


点击“打开”，通过滚动滑轮，并切换“Top View”视角，进入以下界面：



2. 施加重力。

选中“Gravity”并点击中最右边的一个图标（或者双击“Gravity”按钮），在“Apply Gravity”前画勾，并在“Y Gravity”中填写“-9.8”，然后确定。（请注意重力方向及各坐标轴方向）得到如下界面：

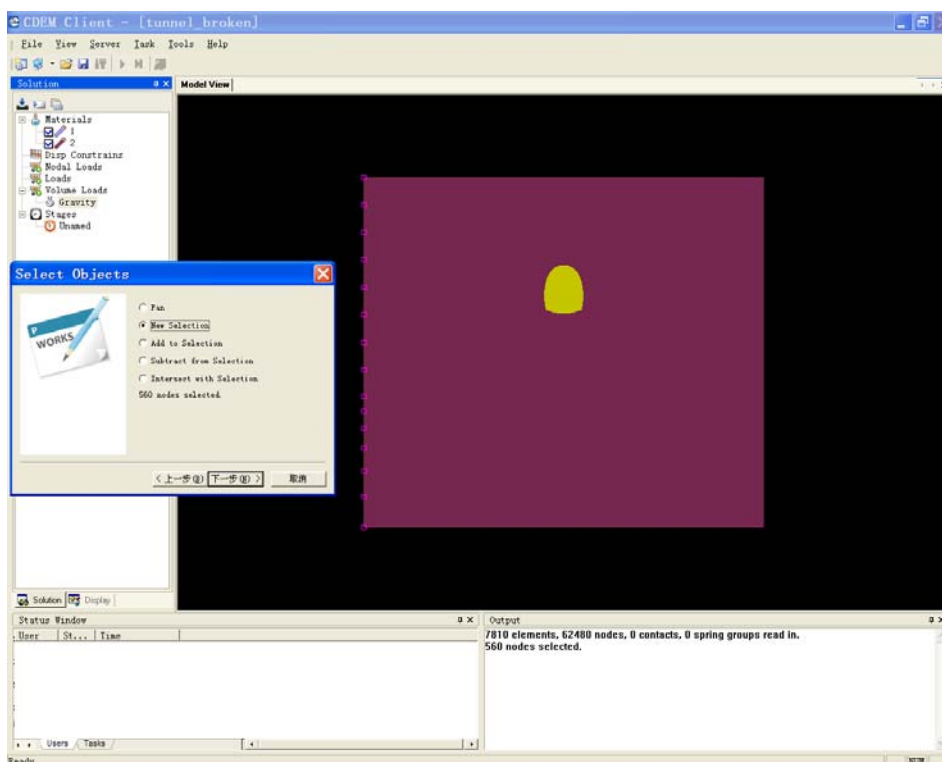


3. 加边界条件。

点击  中最左边的一个，得到如下界面：

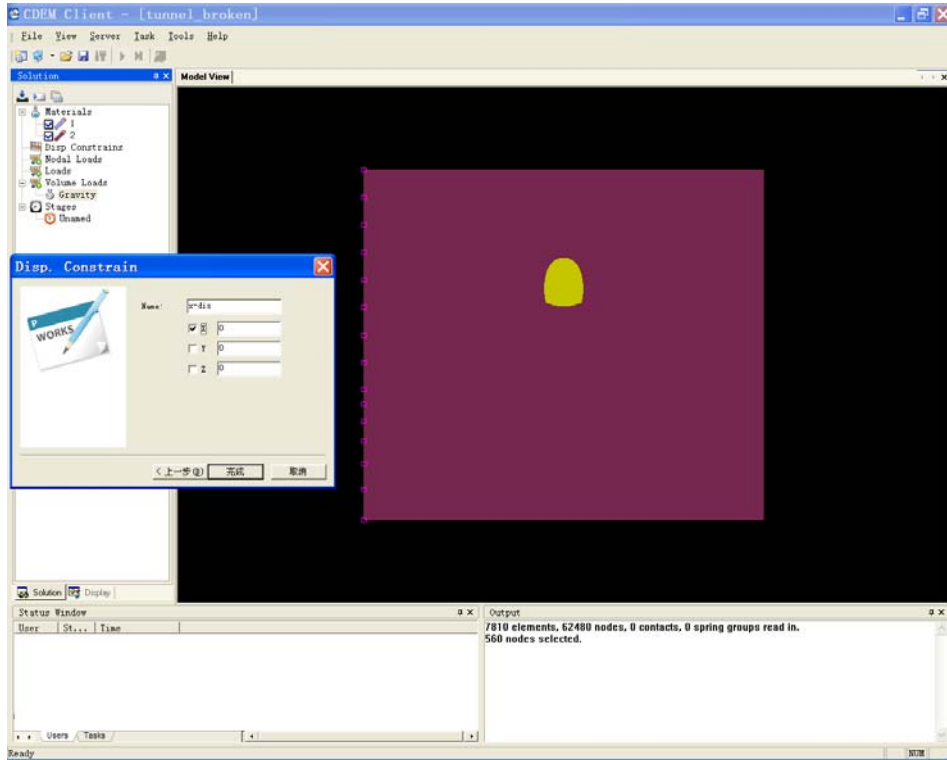


默认为“位移边界”（可根据不同条件加载节点力“Nodal Loads”或面力“Pressure”），点“下一步”，并拖动鼠标使小对话框移出主要区域，以不阻挡观看模型视线为宜，用框选的方式选中左侧边界面上的节点：

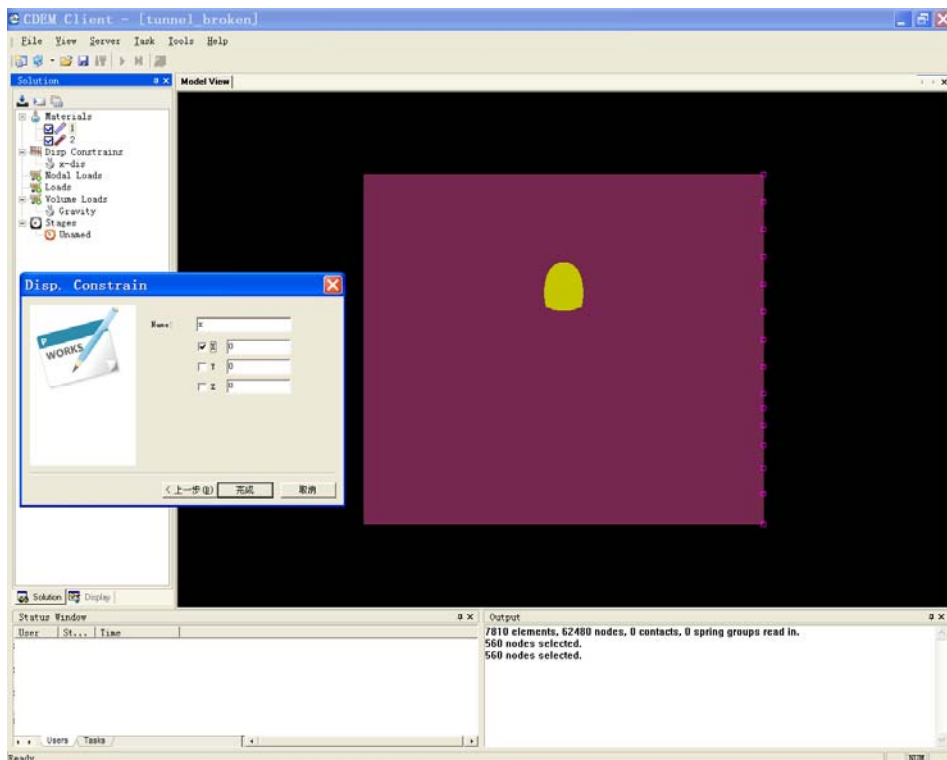


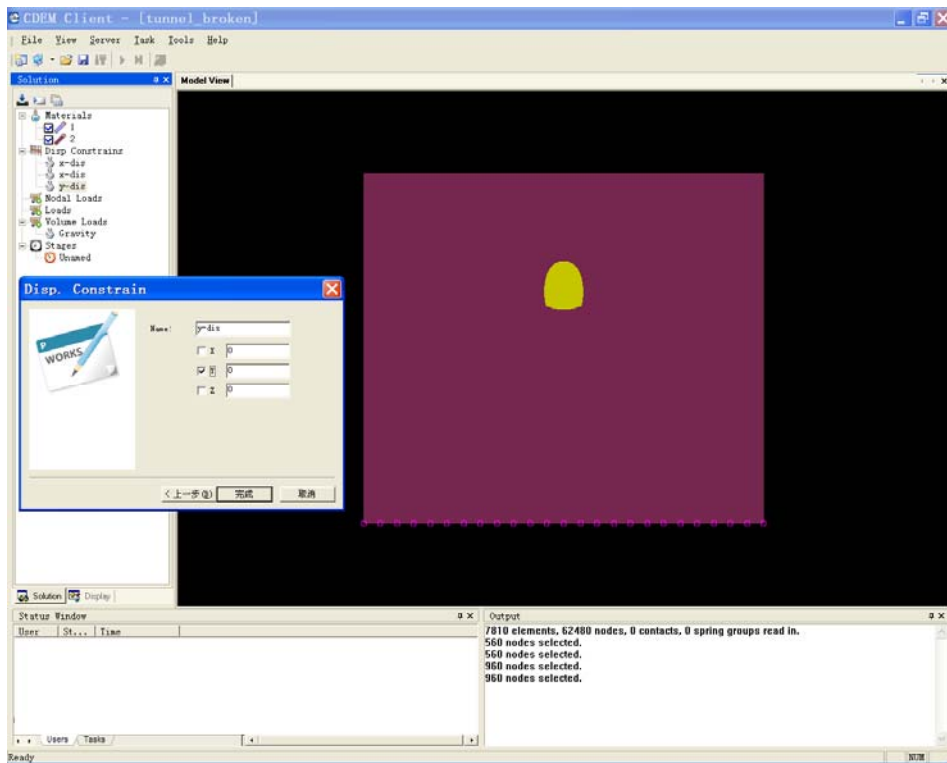
点击下一步得到如下对话框，在 Name 中输入“x-dis”，并在字母 X 前画勾，表示 x 方向上的位移约束为零。最后点击完成。

注：在“Output”对话框中可显示出选中的节点数。

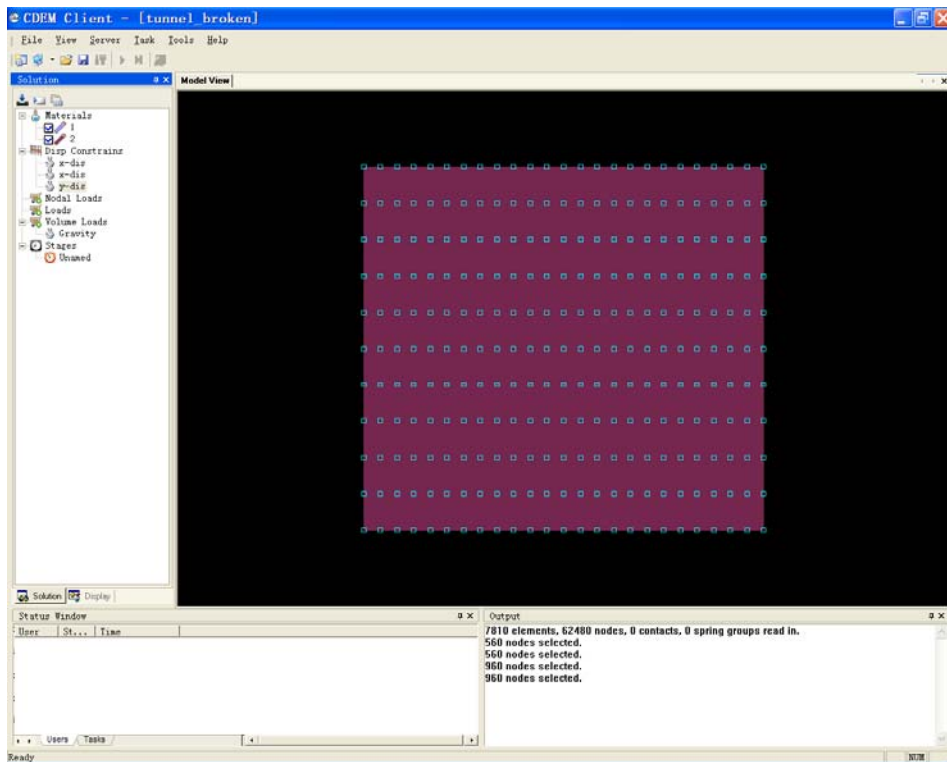



同理，可施加 X、Y 其他两个边界上的位移约束：

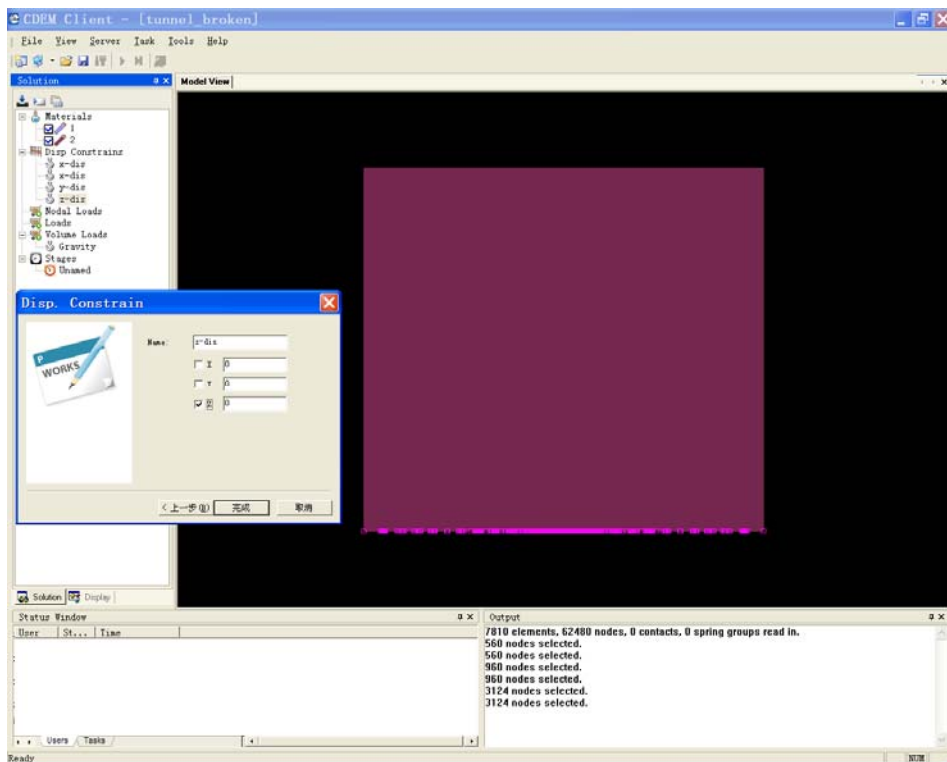
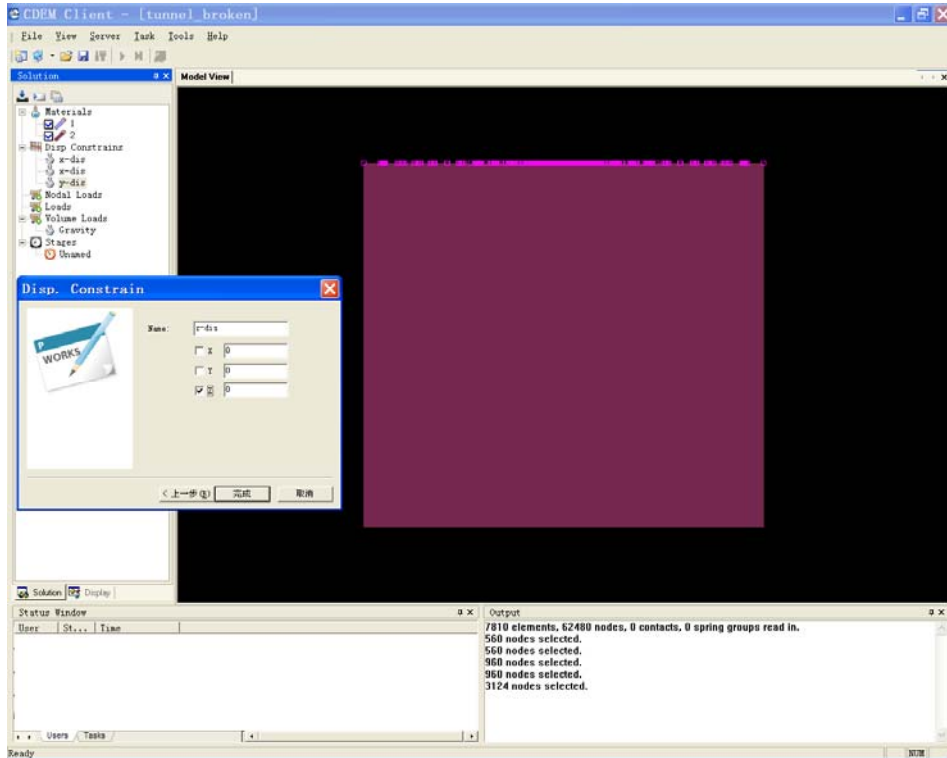




然后点击“Display”，再点击“Front View”，得到如下界面：





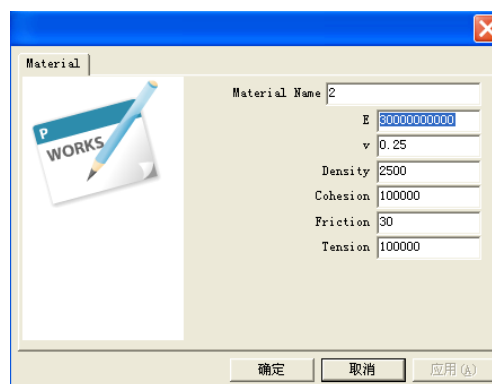
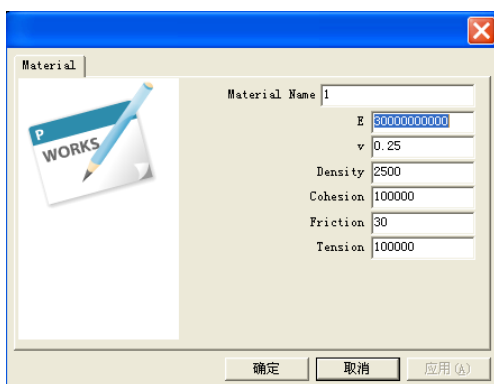
再点回“Solution”，同理点击  按钮，加载 z 向的两个位移约束，画面如下：



分别点击完成，位移约束条件施加完毕。

4. 修改材料参数。

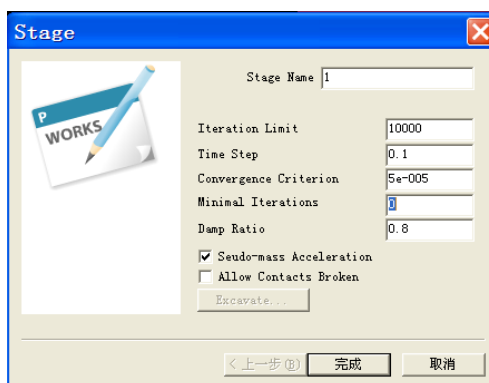
双击 Materials 下的图标  和 ，可修改弹模、泊松比、密度、粘聚力、内摩擦角、抗拉强度等参数。






注：由于本算例中默认值即可满足条件，故未作修改。

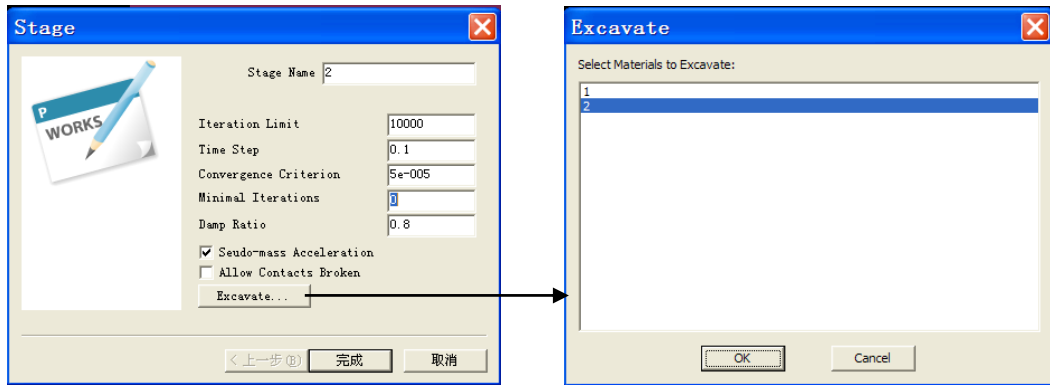
5. 设置相关参数。

双击“Solution”对话框中“Stages”下的“Unnamed”，并重命名为“1”，表示第一阶段；迭代步数设为“10000”，步长设为“0.1”，其他默认，得到如下画面：





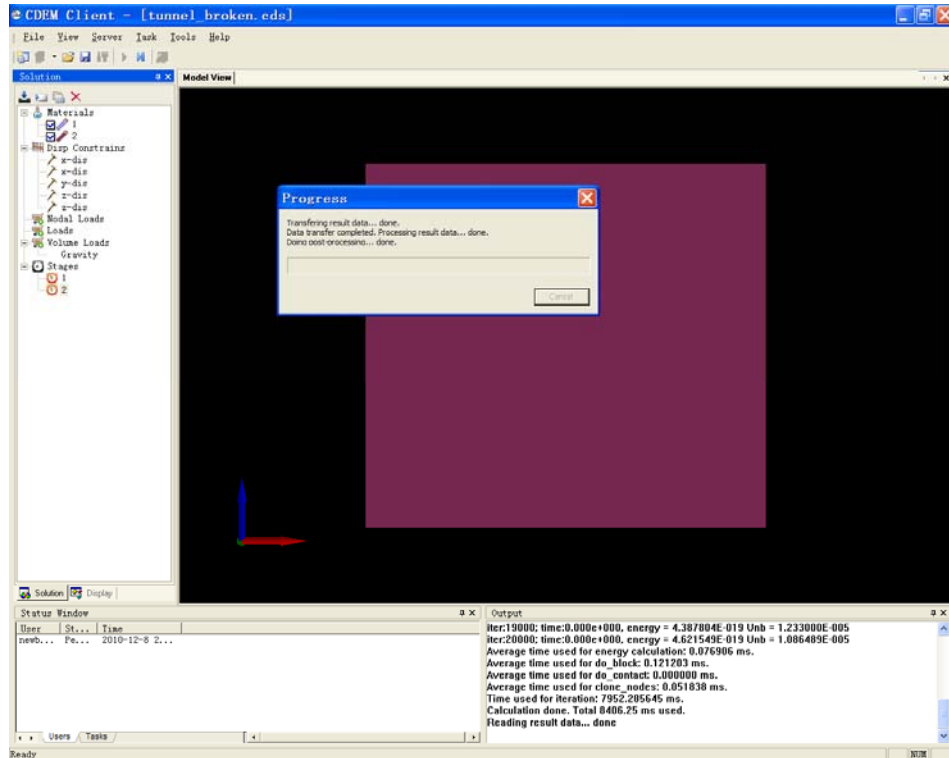
6. 开挖并划分计算阶段。

点击    中间那个图标，并重命名为“2”，表示第二阶段；迭代数设为“10000”，步长设为“0.1”，其他默认；再点击“Excavate”弹出如下对话框，选中材料组 2 为开挖部分。OK，完成。

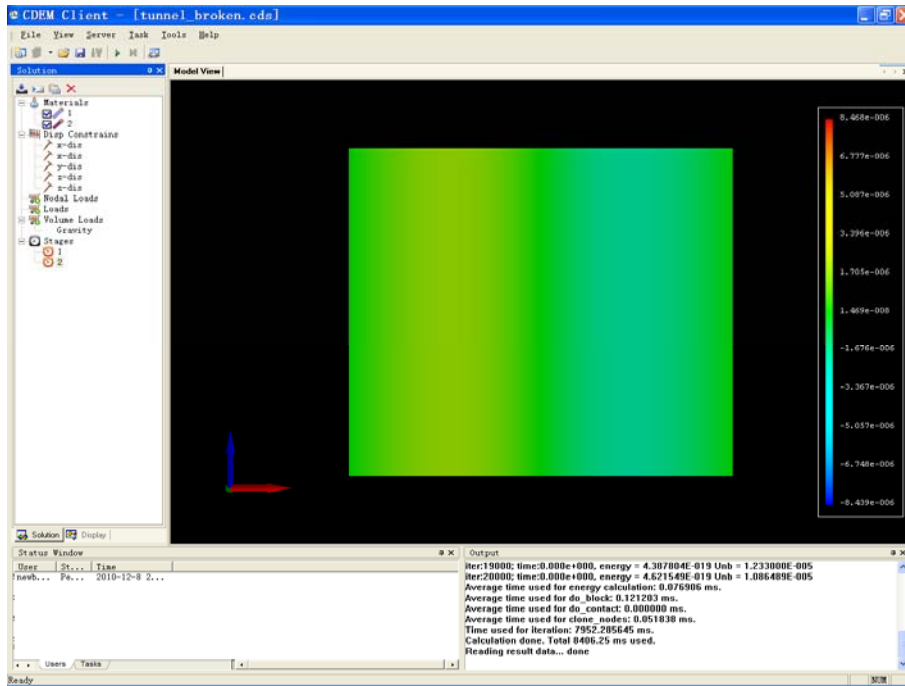


7. 计算求解。

点击  图标，以连接到 GDEM，再点击  图标，开始计算。（请注意页面右下角的对话框中的数据显示）



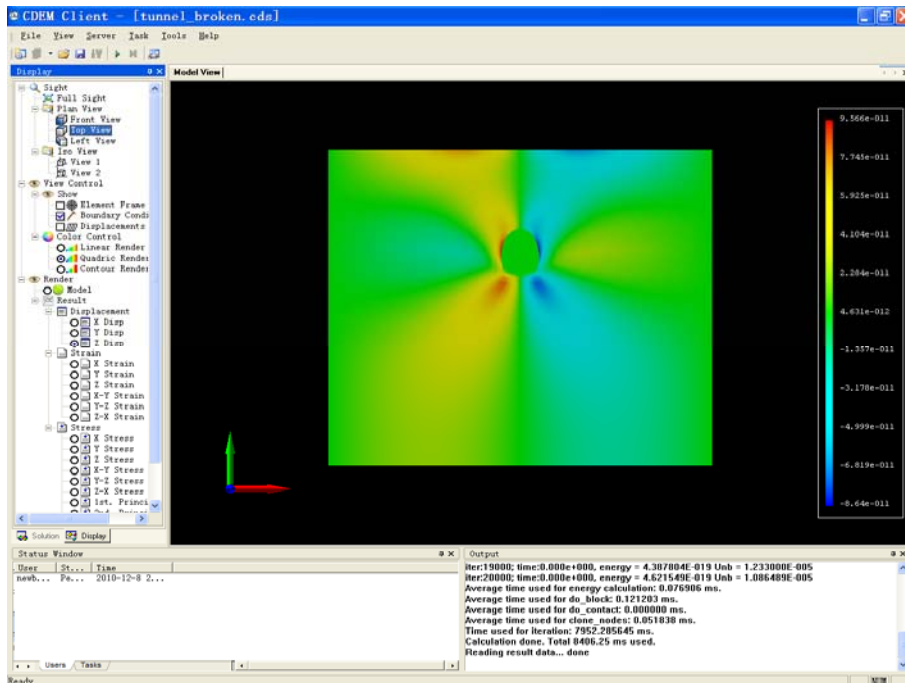
计算完毕，结果如下：




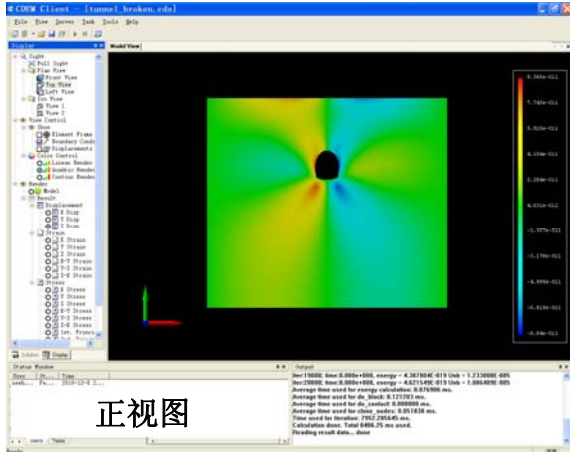
8. 结果分析。

(1) GDEM 自身进行后处理。

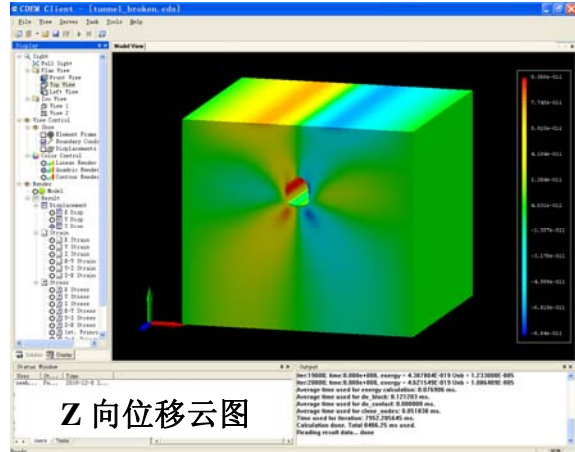
点击“Display”，再点击“Top View”，并选择二次曲面显示 Z 向位移云图：



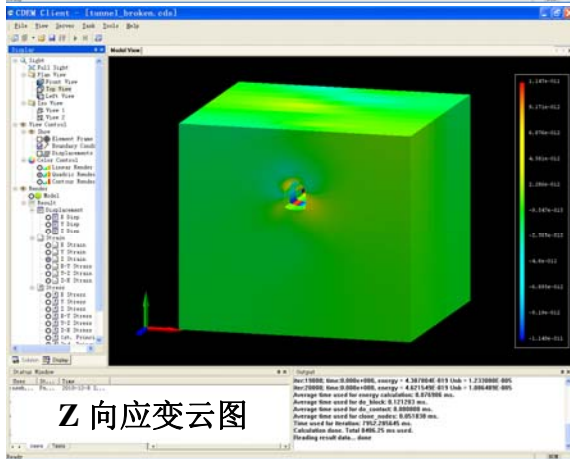
点击“Solution”，去掉图标  前的勾即可看到隧道内部的位移、应力、应变情况。另外，通过鼠标调整视角可显示更多信息，如位移云图、应力、应变云图等：



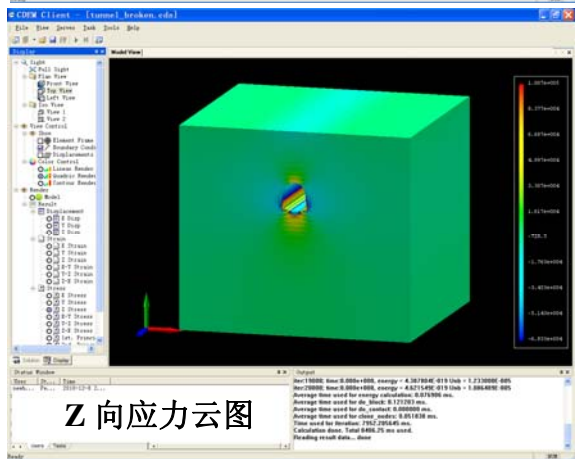
正视图



Z 向位移云图



Z 向应变云图

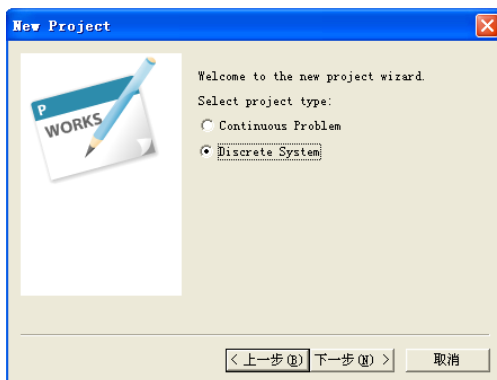


Z 向应力云图

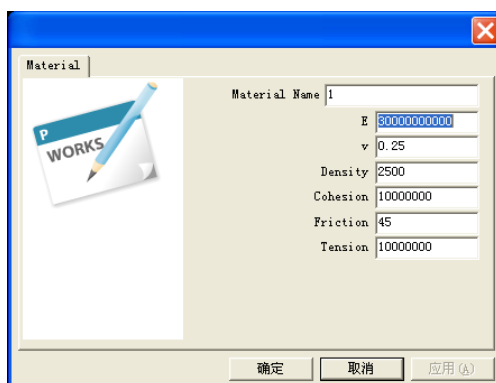
(2) 将结果导入 Patran 或 Tecplot 等软件进行后处理。(略)

三、 土石混合体边坡模型

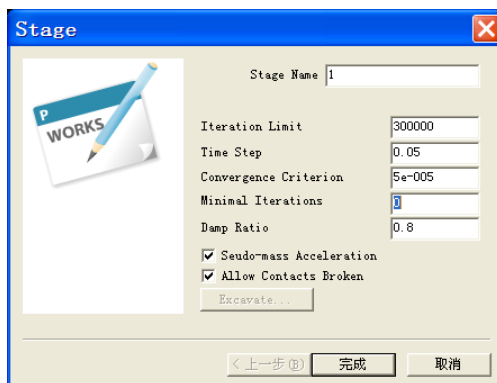
1、双击打开“GDEM 静力学专业版 (V1.0)”软件，软件自动弹出“New Project”对话框，选择“Discrete System”：




连续点击两次“下一步”，将 Friction 改为 45，其他参数不变：

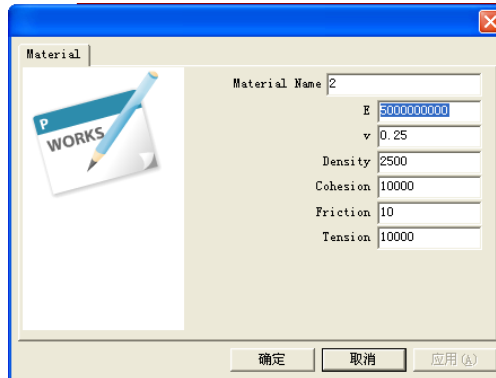


再点击“下一步”，将“Stage Name”改为 1，“Iteration Limit”改为 300000，“Time Step”改为 0.05，在“Allow Contacts Broken”前画勾：

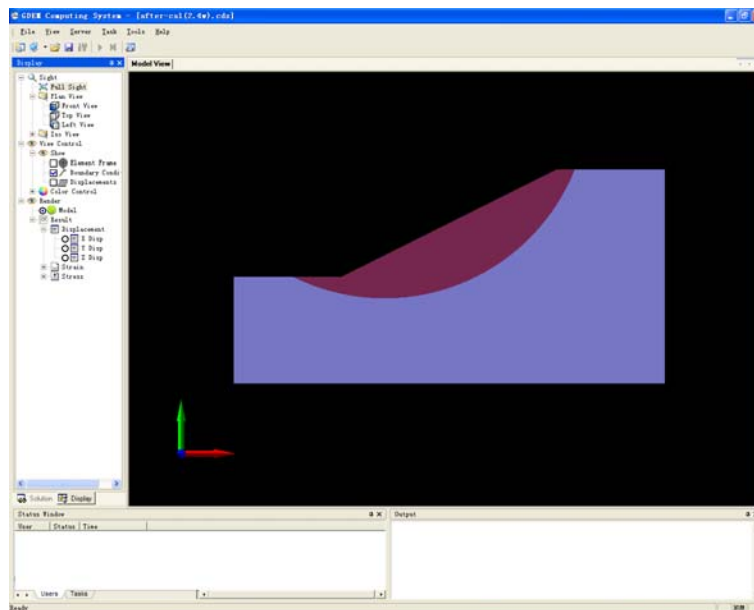


点击“下一步”，“完成”。


双击“ 2”，将 E 改为“5e9”，Cohesion 和 Tension 改为“10000”，Friction 改为“10”。确定。

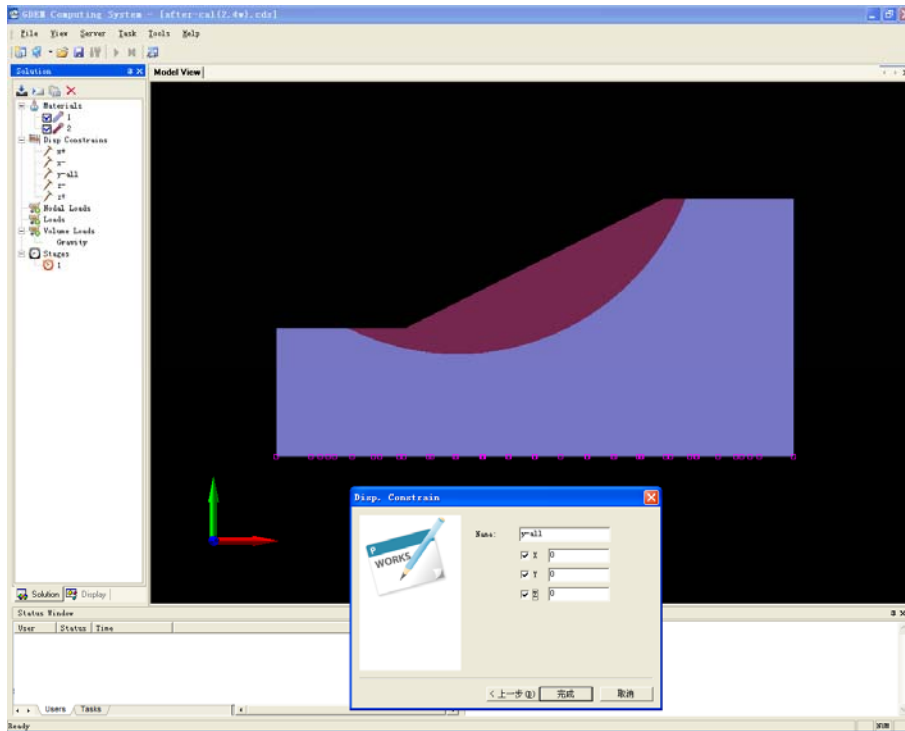



2、调入由 Ansys 生成的示例模型“slope_broken.dat”（2.4 万个五面体单元），拖动滚轮使模型缩小：

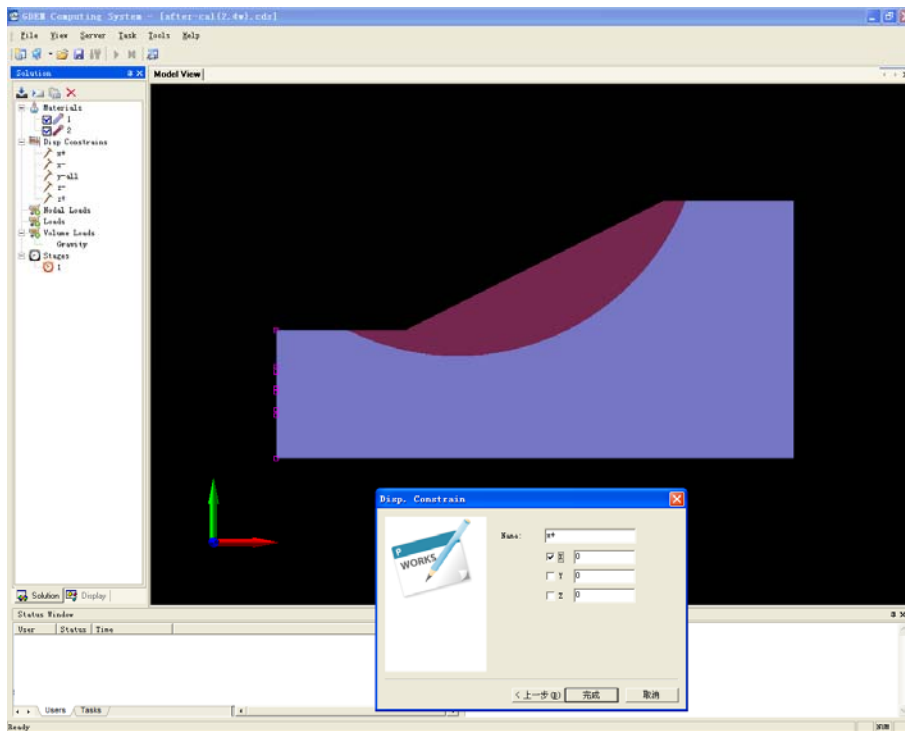


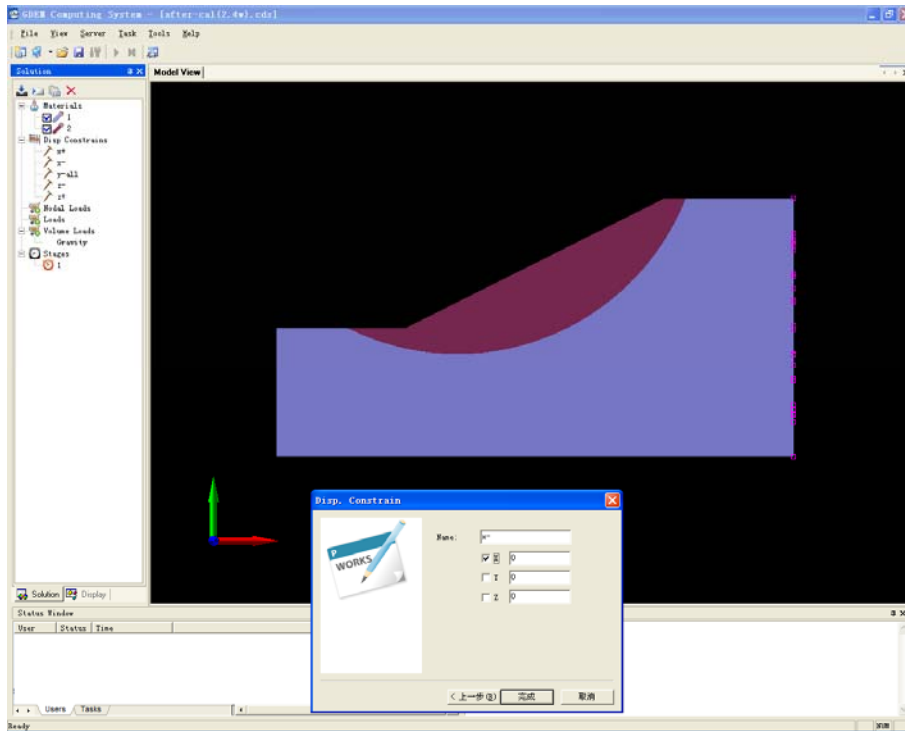
3、加载边界条件：

- 1) 点击  图标，选择“Displacement Constraints”，进行底面全约束，点击下一步，完成。

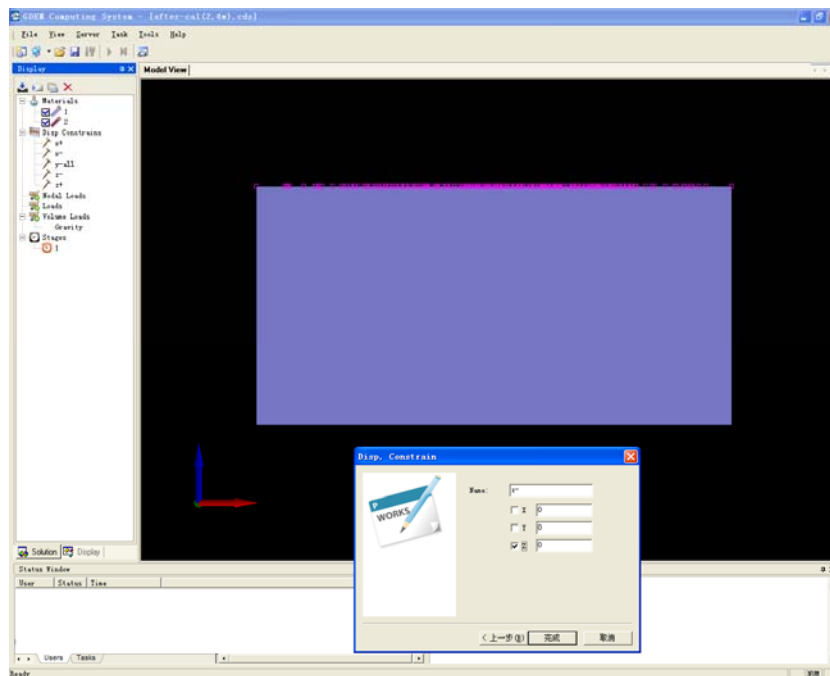


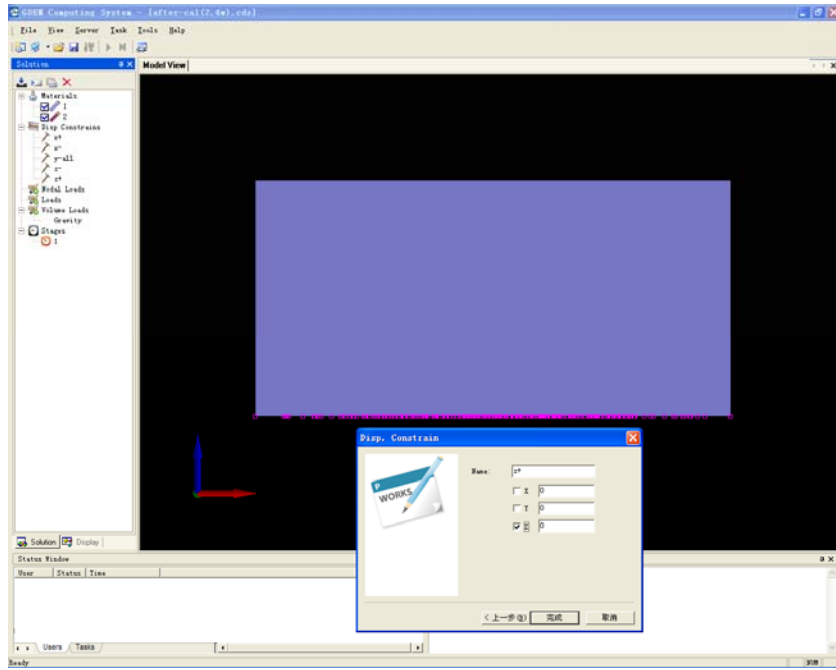
- 2) 点击  图标，选择“Displacement Constraints”，对 X 方向进行约束，点击下一步，完成。





- 3) 点击  图标，选择“Displacement Constraints”，变换模型的显示视图，对 Z 向进行约束，点击“完成”。



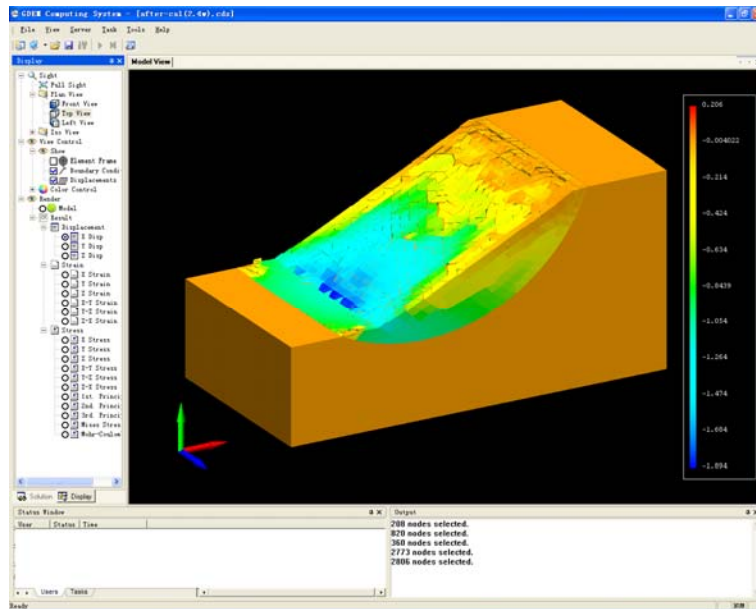


4、求解计算：

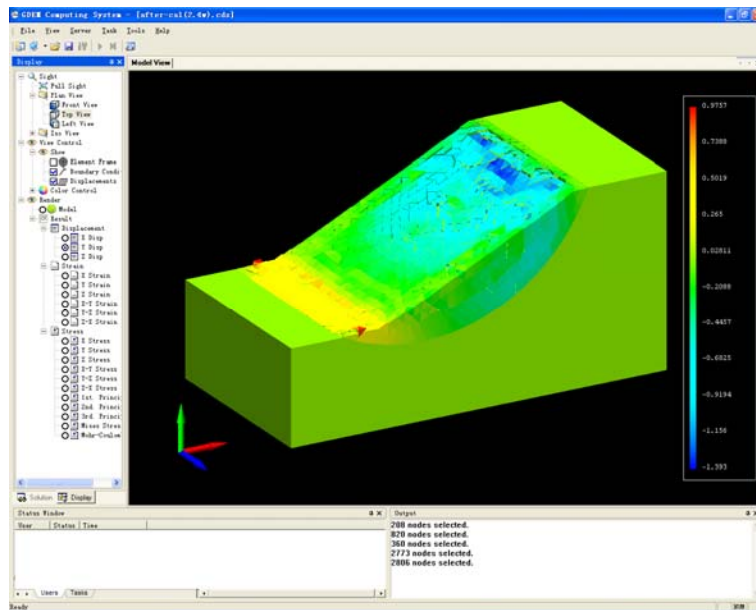
点击  图标，以连接到 GDEM，然后点击  图标即可开始计算。

5、结果分析：

1) 水平方向上的位移云图为：



2) 竖直方向上的位移云图为:



基于连续介质力学的离散元方法介绍

一、 CDEM 方法概述

随着数值计算技术的不断发展，通过数值分析来研究工程问题已经成为共识。目前，数值计算领域面临着两方面的技术难题需要解决。

1、无法通过一种数值软件来模拟材料由连续到非连续，最终到运动性破坏的全过程。

传统的数值计算方法主要包括两类：一类以连续介质力学为基础，模拟材料的连续变形及塑性破坏，主要包括有限元及有限差分等两种。另一类以非连续介质力学为基础，用于模拟散体系统的运动、碰撞特性，主要包括块体离散元及颗粒离散元等两种。有限元法及有限差分法能够较好地模拟材料在连续状态下的特性，但不能模拟材料从连续到非连续的过程及在非连续状态下的运动特性。块体离散元及颗粒离散元在模拟非连续体的运动特性方面具有一定的优势，但较难模拟材料的连续变形过程。

2、计算速度及计算规模无法满足工程设计的需求。

目前的数值计算软件速度过慢，模拟由十万量级单元组成的材料的动态破坏过程，往往需要几天、甚至几周的时间。然而，为了精确模拟材料的动态破坏效应，往往需要百万、甚至千万量级的单元，在这样的单元量级上进行计算，目前的数值计算软件是无法做到的。

基于连续介质力学的离散元方法（**Continuum-based Discrete Element Method**）是中国科学院力学研究所提出的适用于模拟地质体在静、动载荷作用下非连续变形及渐进破坏的一种数值算法。该方法将有限元与离散元进行耦合，在块体内部进行有限元计算，在块体边界进行离散元计算，不仅可以模拟地质体在连续状态下及非连续状态下的变形、运动特性，更可以实现地质体由连续体到非连续体的渐进破坏过程。

二、 CDEM 基本原理

CDEM 采用基于时程的动态松弛技术进行显式迭代计算，求解动态问题、非线性问题及大位移、大转动问题具有明显优势，其计算流程如图 1 所示。

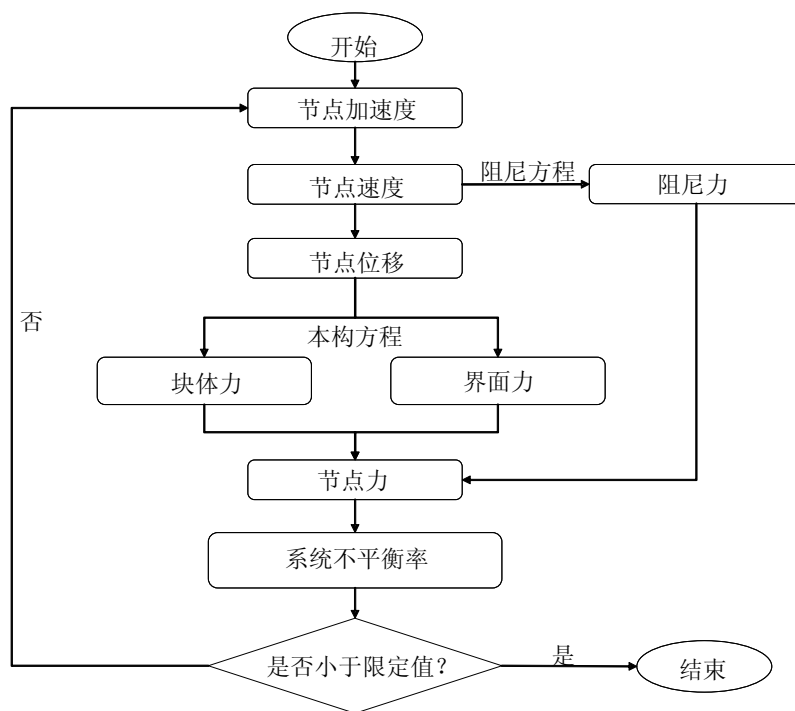


图 1 CDEM 方法的计算流程

CDEM 中的块体由一个或多个有限元单元组成，在块体内部使用连续本构，块体边界使用非连续本构（如图 2）。CDEM 中每个有限元单元可以是简单的四面体、五面体及六面体单元，也可以是复杂的多面体单元，复杂多面体单元（如图 3）。CDEM 中块体间的非连续变形主要通过弹簧来实现，通过弹簧的断裂来模拟材料的开裂、滑移等。

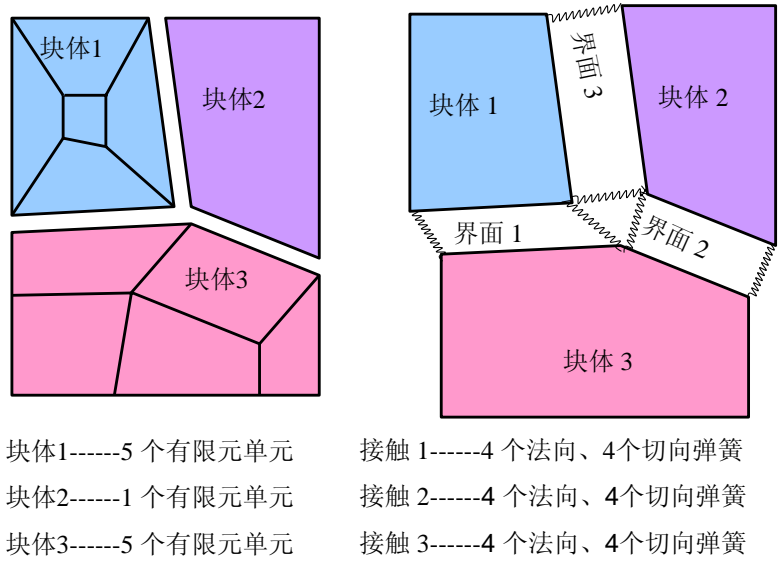


图 2 CDEM 中的块体及界面

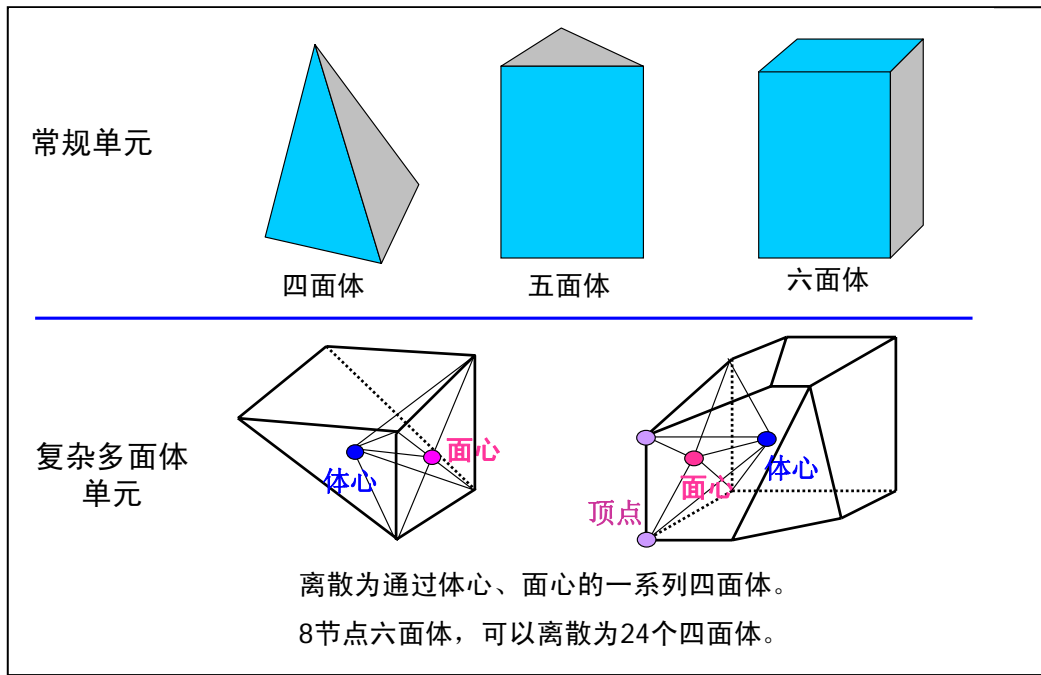


图 3 CDEM 中的有限元单元

CDEM 采用刚度矩阵法求解单元的内力。由于 CDEM 采用动态松弛技术，并不需要形成总体刚度矩阵，而只需求取每一个单元的单元刚度矩阵，在每个迭代步通过式 1 计算单元自身的节点力，并将此节点力分配至单元对应的节点上。其中 $\{F\}_i^e$ 为

单元 i 的节点力向量, $\{u\}_i^e$ 为单元 i 的节点位移向量, $[K]_i^e$ 为单元 i 的单元刚度矩阵。

$$\{F\}_i^e = [K]_i^e \{u\}_i^e \quad \text{式 (1)}$$

CDEM 界面的法向及切向弹簧的示意图如图 4 所示, 弹簧力的计算如式 2 所示。其中 F_n^j 、 F_s^j 表示第 j 根弹簧的法向及切向力, K_n^j 、 K_s^j 表示第 j 根弹簧的法向及切向刚度, Δd_n^j 及 Δd_s^j 表示第 j 根弹簧的法向及切向位移。

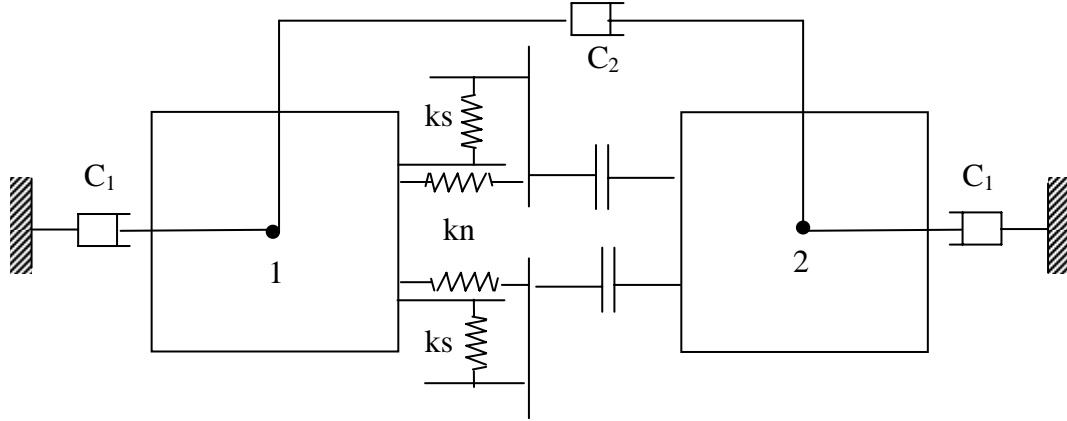


图 4 接触面法向、切向弹簧示意

$$\begin{cases} F_n^j = -K_n^j \times \Delta d_n^j \\ F_s^j = -K_s^j \times \Delta d_s^j \end{cases} \quad \text{式 (2)}$$

进行破坏计算时, 采用 Mohr-Coulomb 准则, 对式中的弹簧力进行修正, 如式 3, 其中 T 为抗拉强度, ϕ 为内摩擦角, C 为粘聚力。

$$\begin{cases} (1) \text{ If } -F_n^j \geq T \quad F_n^j = F_s^j = 0 \\ (2) \text{ If } F_s^j \geq F_n^j \times \tan(\phi) + C \\ F_s^j = F_n^j \times \tan(\phi) + C, C = 0 \end{cases} \quad \text{式 (3)}$$

三、 CDEM 并行化架构

与传统的 CDEM 程序不同, GPU 版 CDEM 程序首先需要将程序中的核心代码并行化。为了解决并行计算中的访问冲突问题, 传统 CDEM 中克隆节点的方法被抛弃, 取而代之的是节点力组的方法。对传统的 CDEM 来说, 每个单元计算完毕后的节点力需同时分配给与本单元本节点对应的其余克隆节点, 这种方法在串行架构下

是可行的，但在并行架构下就会出现访问冲突。与传统的 CDEM 计算流程不同，并行化的方法采用一套临时数据结构来存储各单元计算出来的节点力。当所有单元的节点力计算完毕后，将此临时数据结构中的节点力独立分配到各节点中。（如图 5）

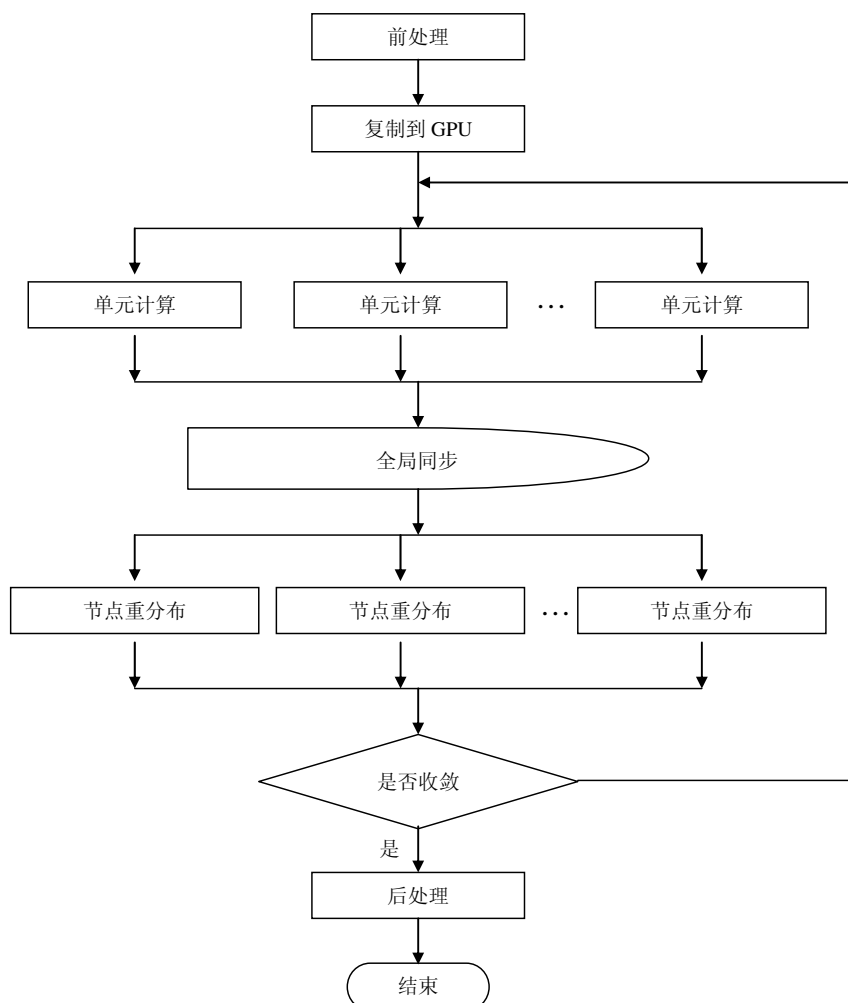


图 5 CDEM 并行计算流程图

单元的计算流程根据 GPU 的特性进行了优化。GPU 由一些列单指令多线程的多处理器（也即 CUDA 中的块）组成，每个多处理器包含一个指令单元及若干个标量计算核（也即 CUDA 中的线程），每个标量计算核执行独立的计算功能。CDEM 中的单元被分配到不同的块中进行计算，每个块含有一定数量的 CDEM 单元。根据验证，一个块中包含 32 个 CDEM 单元，计算效率最佳。如图 6 所示，CUDA 中的块被分成了若干线程，每个线程计算一个节点。

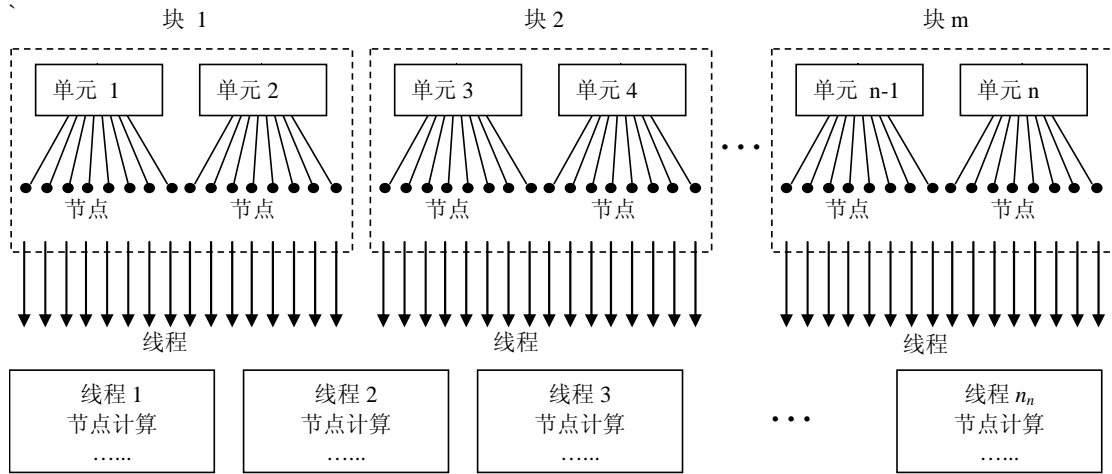


图 6 单元计算中的线程分配方法 (每个块中含 32 个单元)

同样，节点力的重分配方法与上述块体-线程的架构方法相同，每个 CUDA 块包含若干节点力组，每个节点力组为一个独立的线程。(图 7)

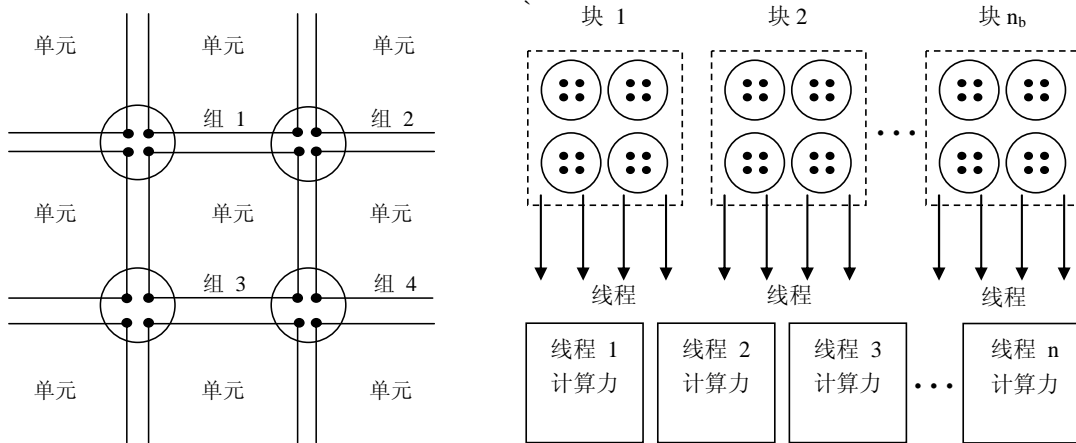


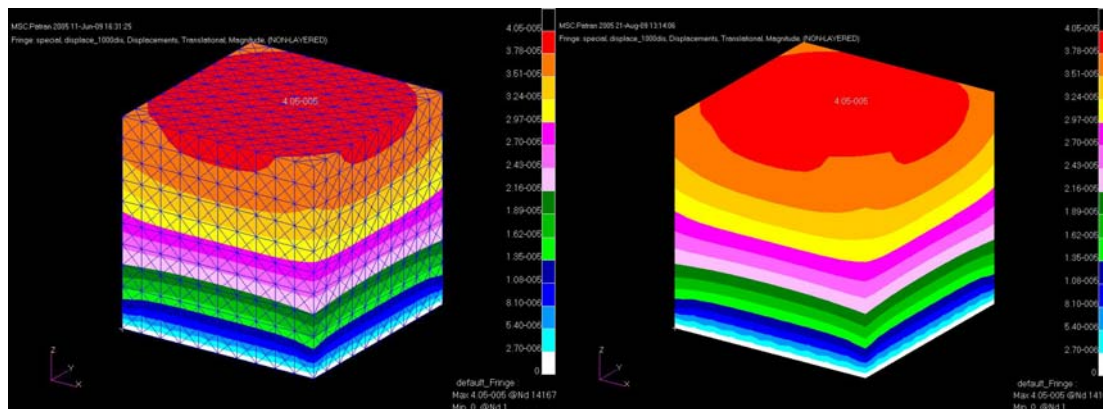
图 7 节点力组

四、 GPU 下典型算例

1、 混凝土块弹性场计算

包含 1000 个六面体单元的混凝土块，在重力作用下的弹性位移场如图 8 所示，CPU 计算耗时 252 秒，GPU 计算耗时 0.478 秒。

GPU 配置：GeForce GTX285；CPU 配置：Core (TM) 2， 1.86GHZ。



a. CPU 程序

b. GPU 程序

图 8 混凝土弹性场计算

2、 长城烽火台弹性场计算

41232 个六面体单元，4000 迭代步，CPU 版 CDEM 程序耗时 95 分钟，GPU 版 CDEM 程序耗时 6.1 秒，商用软件 FLAC3D 耗时 13 分钟。（图 9）

GPU 配置：GeForce GTX285；

CPU 配置：Core (TM) 2， 1.86GHZ。

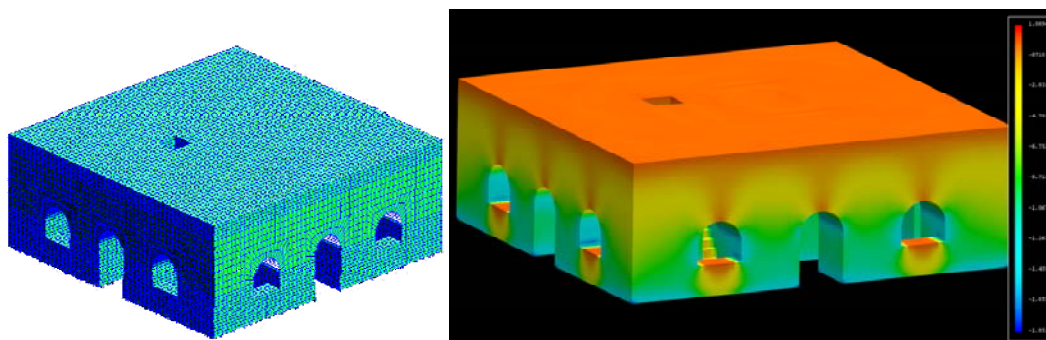


图 9 长城烽火台弹性场计算

3、凉水井滑坡弹性场计算

85800 个六面体单元，5000 迭代步，GPU 版 CDEM 程序耗时 12.5 秒，商用软件 FLAC3D 耗时 2170 秒。(图 10)

GPU 配置：GeForce GTX485;

CPU 配置：Core (TM) 2, 1.86GHZ。

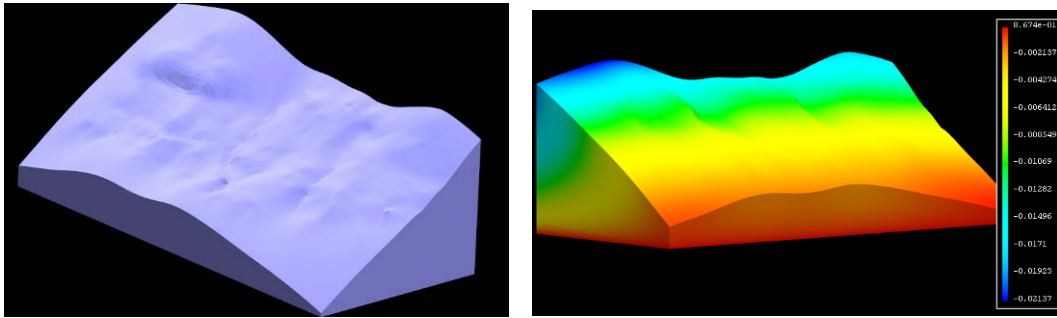


图 10 凉水井滑坡弹性场计算

4、露天矿边坡弹性场计算

33.5 万个六面体单元，53 秒完成弹性场计算。

GPU 配置：GeForce GTX485;

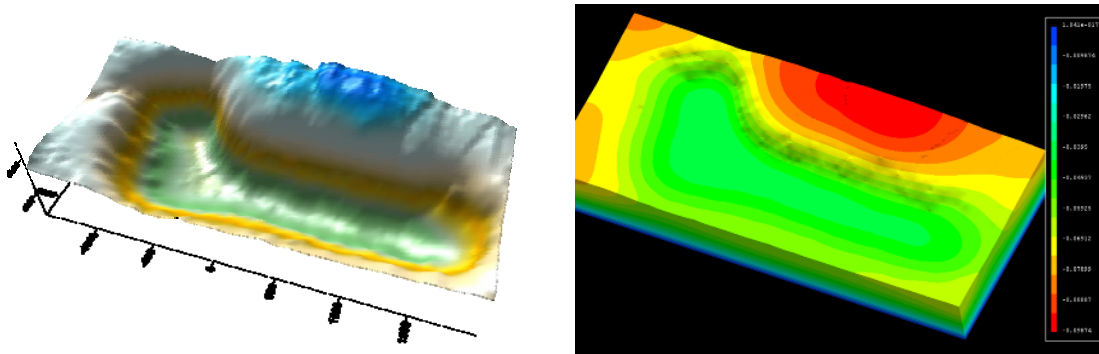


图 11 露天矿边坡弹性场计算

5、三维地质体计算模型

127 万个四面体单元，耗时不超过 8 分钟。

GPU 配置：GeForce GTX485；

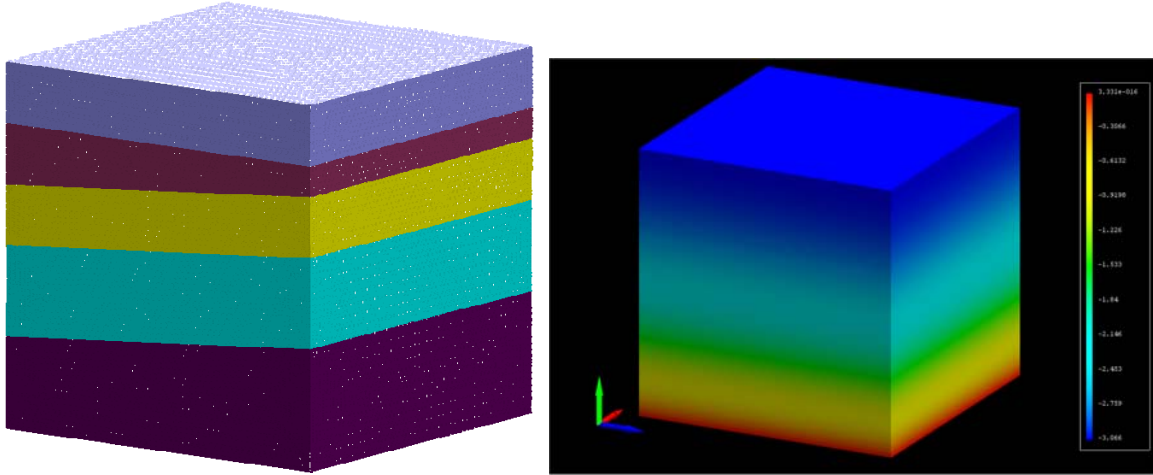


图 12 三维地质体弹性场计算

五、 GPU 计算速度统计

1. 连续问题:

在求解连续问题时，GDEM 的计算效率如图 13 所示（GPU 配置：GeForce GTX485），具体统计数据如表 1 所示。

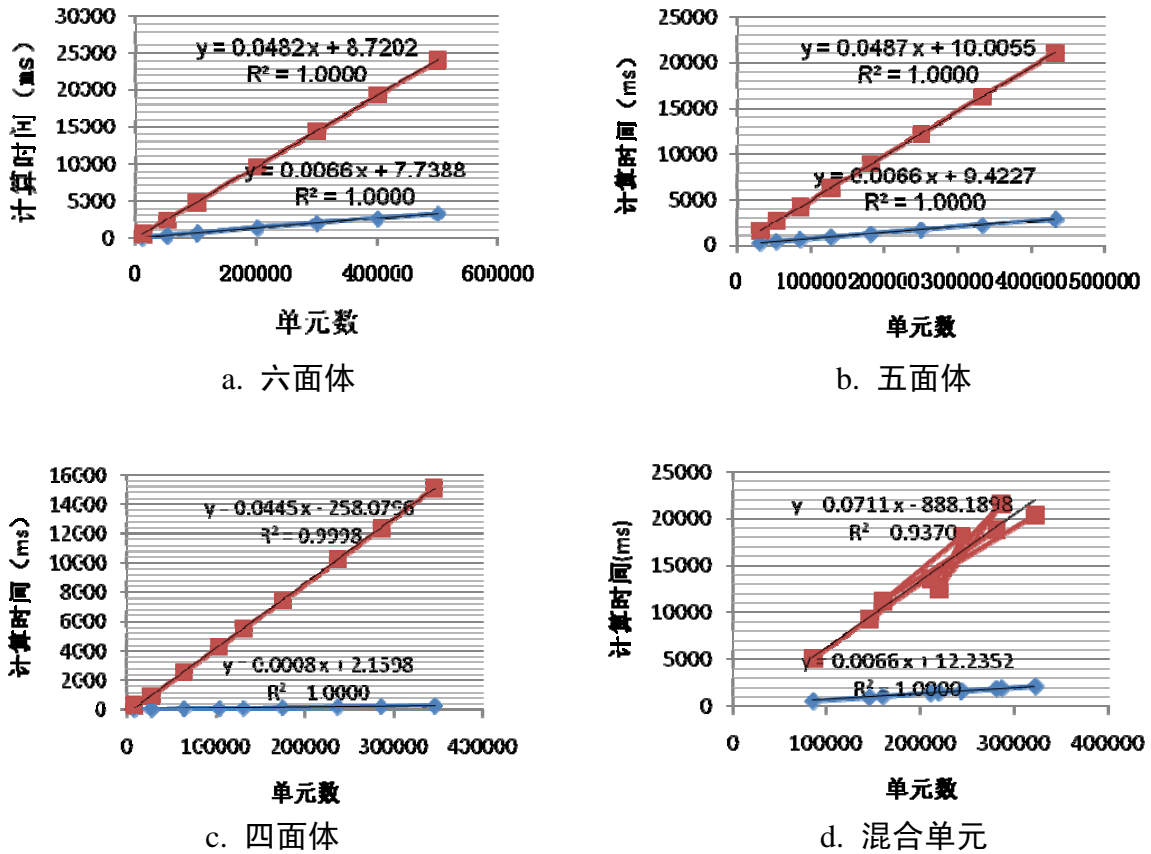


图 13 单元类型与计算时间的关系

表 1 各种单元类型的计算效率对比

连续问题 1000 个计算单元迭代 1000 次的计算时间				
单元类型	六面体	五面体	四面体	混合单元
产生刚阵时间 (ms)	6.6	6.6	0.8	6.6
迭代时间(ms)	48.2	48.7	44.5	71.1

2. 离散问题:

在求解非连续问题时, GDEM 的计算效率如图 14 所示 (GPU 配置: GeForce GTX485), 具体统计数据如表 2 所示。

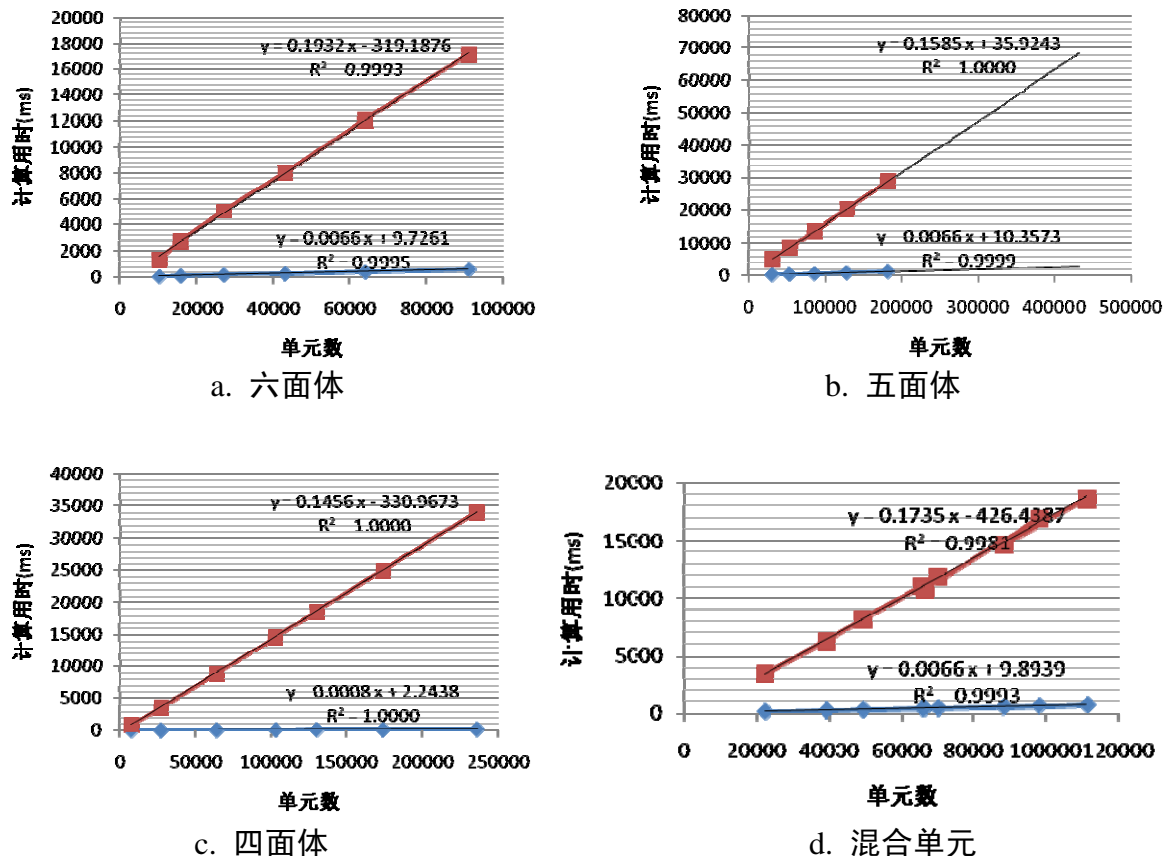


图 14 单元类型与计算时间的关系

表 2 各种单元类型的计算效率对比

离散系统 1000 个计算单元迭代 1000 次的计算时间				
单元类型	六面体	五面体	四面体	混合单元
产生刚阵时间 (ms)	6.6	6.6	0.8	6.6
迭代时间(ms)	193.2	158.5	145.6	173.5

3. 最终统计:

总体而言，计算线弹性问题，每 1 万个单元迭代 1 万步，耗时为 4-7 秒，且迭代 5000 步左右，可以得到较为准确的弹性场。

意见反馈

感谢您阅读本操作手册，如有任何疑问，可通过以下方式与我们联系！

我们将竭诚为您服务！

固定电话：010-59704529

移动电话：18911254529

电子邮箱：info@gdem-tech.com

网 址：<http://www.gdem-tech.com/>