工程岩体破裂过程细胞自动机分析软件

Cellular Automata Software for engineering Rockmass fracturing process



V1.0

使用手册

中国科学院武汉岩土力学研究所 东北大学

目 录

		<u>▶</u> 破裂过程细胞自动机分析软件	
使用	手册] 	1
`		ト	1 1
\equiv	软件	 概述 环境 安装	2
四、	CAS	SRock 数值分析流桯	3
	4.1	建模	
		4.1.1 自带建模	
		4.1.2 外部程序建模	
	4.2	前处理	
		4.2.1 工作目录设置	
		4.2.2 导入模型	
		4.2.3 材料参数	
		4.2.4 分析类型	
		4.2.5 边界设置	
	4.3	求解	
		4.3.1 加载控制	
		4.3.2 计算控制	
		4.3.3 输出控制	
		4.3.4 计算	
	4.4	分析	
		4.4.1 读取结果	
		4.4.2 云图	
		4.4.3 网格	19
		4.4.4 材料模式	19
		4.4.5 切面	20
		4.4.6 剖面	20
		4.4.7 动画显示	21
		4.4.8 曲线绘制	21
		4.4.9 变量输出	22
	4.5	系统设置	22
		4.5.1 显示设置	22
		4.5.2 其他设置	23
五、		<u> </u>	
	5.1	主页	
		5.1.1 节点显示	
		5.1.2 单元模式	
		5.1.3 材料显示	24
		5.1.4 对齐相机	
		5.1.5 页面(只有存在多个数据文件时,该功能才生效)	25
		5.1.6 面板	25
	5.2	建模	25
		5.2.1 一维	25

		5.2.2 三维	26
		5.2.3 网格划分	26
	5.3	功能	
		5.3.1 颜色表	26
		5.3.2 显示	27
		5.3.3 效果	28
		5.3.4 单元显示	28
		5.3.5 其他	28
	5.4	. 对象	
		5.4.1 锚杆	28
		5.4.2 结构单元	29
		5.4.3 球/向量	31
		5.4.4 曲线绘制	31
		5.4.5 图解注释	32
	5.5	输出	32
		5.5.1 动画输出	32
		5.5.2 图片输出	32
		5.5.3 变量输出	33
六、		型例子	34
	6.1	非均质岩石二维单轴压缩破裂过程	34
		非均质岩石真三轴压缩破裂过程模拟	
		二维单裂纹扩展模拟	
	6.4	· 二维隧道开挖和支护过程模拟	44
	6.5	三维隧道开挖过程模拟	49

一、软件概述

随着国家基础设施建设的大规模推进,我国正迎来新一轮岩石工程建设的高潮。与此同时,片帮、塌方、岩爆、大变形和冲击地压等工程灾害频发,岩石力学和工程面临新的机遇和挑战。研究岩体非线性和非连续变形破坏行为,是评估和控制工程灾害的基础,而数值分析是工程岩体破坏机制研究的重要辅助手段。目前国内岩土工程软件方兴未艾,大部分相关软件都来自国外,而国产软件的缺失存在产业安全风险,同时与自主研发与创新的国家战略相悖。自主研发工程岩体破裂分析软件是当前行业亟待解决的问题。

为此基于多学科交叉和工程岩体破裂过程中破坏局部化、自组织和连续-非连续等特点,提出了工程岩体破裂过程局部化分析方法,并自主研发了工程岩体破裂过程分析软件 CASRock (Cellular Automata Software for engineering Rockmass fracturing process)。CASRock 具有以下特点:

- 计算过程与岩石破坏过程自然吻合:
- 只需考虑简单局部渐进破坏,避免计算复杂性;
- 通过不同局部更新规则,可实现多种力学边界,多场和多维的复杂力学模型:
- 连续和不连续分析统一于统一框架;
- 利用基于局部信息的裂纹路径识别实现不连续裂纹的自组织扩展:
- 实现破裂程度(RFD)、烈度(LERR)和过程的定量描述;
- 具有良好的并行性,可用于大规模精细仿真。

CASRock 软件系统可以实现静力/动力分析, 1D/2D/3D, 时间依赖/不依赖, 连续/不连续, 多场, 串行/并行和理论/室内/现场等强大功能, 几乎适用于岩石和工程岩体相关的各种问题。

CASRock 应用领域包括隧道工程、水利水电工程、边坡工程、地下工程、地质工程、煤矿开采工程、爆破防护工程、油气工程和地下核废料处置等,可成为工程师和科研工作者研究分析工程岩体稳定性和探究工程岩体破裂机理的有利工具。

二、运行环境

为安装和运行 CASRock 软件, 计算机中需安装 Windows 2003 及其以上版

本。

三、软件安装

进入官网 <u>www.casrock.cn</u>, 点击"软件下载"页面,根据电脑配置选择 64 位或 32 位版本软件下载(图 1)。



图 1 CASRock 软件下载页面

下载后的 CASRock 软件安装包如图 2 所示。

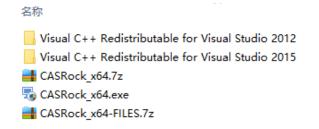


图 2 CASRock 安装包

安装过程如下:

以管理员身份运行图 2 中 CASRock_x64.exe 程序。



2



(c) (d) 图 3 CASRock 安装界面

如图 3a 所示,点击下一步。

如图 3b 所示,选择安装路径,安装路径可自定义。点击下一步。

如图 3c 所示,点击安装,进入安装步骤。

如图 3d 所示,点击完成, CASRock 的安装完毕。

安装完成后,可打开桌面或开始菜单里的 程序,运行后的界面如图 4 所示。



图 4 CASRock 运行界面

四、CASRock 数值分析流程

CASRock 自带建模功能,能够建立二维和三维实体网格,同时也支持从 CAE (例如 ANSYS、FLAC 3D 等)中导入二维和三维实体模型,支持的单元和节点格式如下(图 5)。

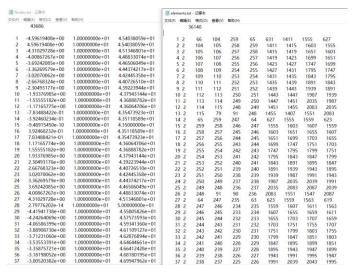


图 5 单元和节点格式

4.1 建模

4.1.1 自带建模

1) 在 CASRock 中,设置工作目录。选择文件保存路径,然后点击"设置"按钮,即可创建工作目录(图 6)。



图 6 工作目录

2) 选择工具栏中"建模"->"矩形"或"长方体"->通过点击鼠标左键画出任意矩形或长方形->在"绘制矩形"制矩绘制长方形"对话框中,通过修改坐标点的坐标确定模型尺寸与位置(图 7)。

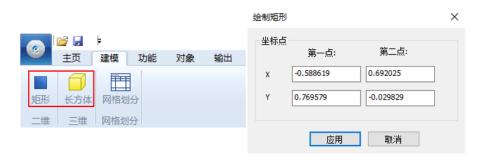


图 7 确定模型尺寸和位置

3) 选择"网格划分"-> 在"网格划分"对话框中,输入单元边长(图 8)。



图 8 网格划分

4) 选择工具栏中"对象"->"结构单元"->"直线/圆/马蹄形",通过点击鼠标左键画出任意直线/圆/马蹄形曲线(图 9)-> 在"绘制直线"制直绘制圆"制圆绘制马蹄形"对话框中,通过修改相关的坐标参数确定其尺寸与位置(图 10)-> 在"前处理"中选择"材料定义",添加另一种/多种材料参数(图 11)-> 单击鼠标左键选中上述"结构单元",单击鼠标右击选择"设置材料",在弹出的"修改材质"对话框中选择"材质 ID",即可创建出模型(图 12)。注意"结构单元"一般用于辅助创建裂纹或隧道模型。



图 9 插入直线

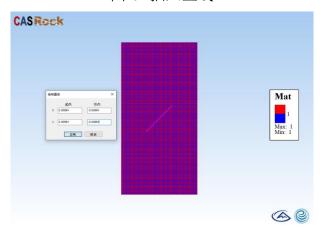


图 10 确定直线尺寸和位置

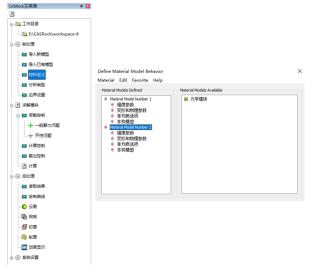


图 11 添加材料

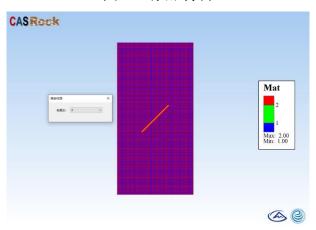


图 12 设置材料 ID

5) 选择"前处理"-> "材料定义",定义模型材料变形及物理参数,强度参数,均质性和本构模型(图 13)。





图 13 材料参数定义

6) 选择"前处理"->"分析类型",软件提供了三种分析类型,如平面应力、 平面应变和三维问题(图 14)。

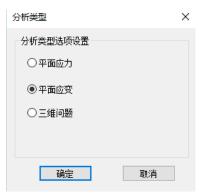
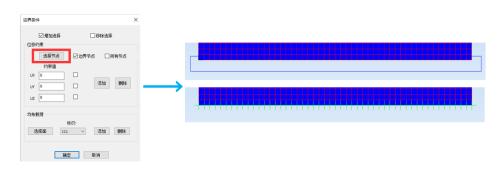


图 14 分析类型

7) 选择"前处理"->"边界设置"->在"边界条件"对话框中,施加应力和位移边界。对于非零位移约束,应输入一个非零数值并标明正负号以识别加载方向。在需要施加均布力的面或线上分别施加量值为111,222,333的均布力,分别代表 x、y、z 方向(图 15)。



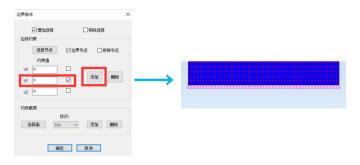
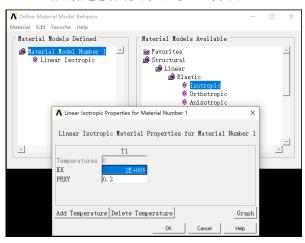


图 15 施加位移和应力边界

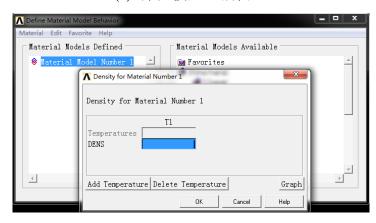
4.1.2 外部程序建模

这里以 ANSYS 为例,介绍外部程序建模的流程,具体如下:

- 1) 在 ANSYS 中,选择 *Main menu -> Preprocessor -> Element Type -> Add/Edit/Delete* 命令,定义单元类型。其中二维模型选用四节点 Solid182/Plane182 单元。三维模型选用八节点 Solid185 单元。
- 2) 选择 Main menu -> Preprocessor -> Material Props -> Material models 命令, 定义材料模型参数。将材料定义为线弹性各向同性,设置弹性模量、泊松比和密度(图 16),可根据建模需要设置多组材料。



(a) 弹性模量、泊松比



(b) 密度

图 16 ANSYS 材料定义对话框

- 3) 选择 Main menu -> Preprocessor -> Modeling 建立实体模型。
- 4) 选择 Main menu -> Meshing -> MeshTool -> Element Attributes -> Volumes/Areas -> Set -> Material number 进行实体单元材料号赋值。
- 5) 选择 *Main menu* -> *Meshing* 进行实体单元网格划分。二维模型可选择三角形网格或四边形网格,三维模型可选择四面体或六面体网格。三维网格划分后,请在 Mechanical APDL 命令窗口中输入 *aclear, all* 命令流清除多余的面。
- 6) 选择 Main menu -> Solution -> Define loads -> apply 施加力和位移边界。对于非零位移约束,应输入一个非零数值并标明正负号以识别加载方向。在需要施加均布力的面或线上分别施加量值为 111,222,333 的均布力,分别代表 x、y、z 方向。
- 7) 选择 Main menu -> Preprocessor -> Numbering Ctrls -> Compress Numbers 命令压缩序号,在下拉菜单中选择 all 对所有序号进行压缩。
- 8) 在 Mechanical APDL 命令窗口中输入 *cdwrite*, *all*, *path/files*,*txt* 命令流导出模型数据信息。

4.2 前处理

4.2.1 工作目录设置

如图 17 所示,点击工作目录菜单下的路径可设置工作目录。输入或选择目录路径,然后点击设置,会自动在该路径下生成 input 和 data 文件夹(图 18)。其中 input 为模型输入文件夹,data 为计算结果输出文件夹。



图 17 CASRock 工作目录设置



图 18 工作目录设置后生成的文件夹

4.2.2 导入模型

点击 CASRock 主菜单: 前处理模块->导入新模型, 选择 ANSYS 建立的模型 txt 文件,导入后的界面如图 19 所示。

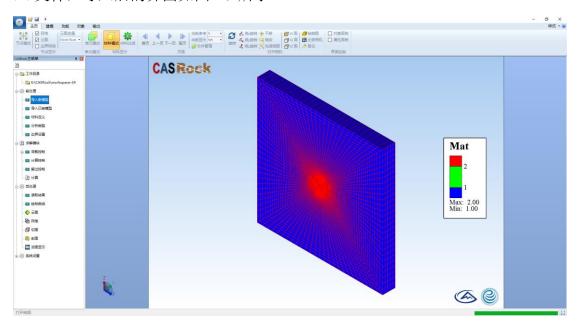


图 19 模型导入界面

4.2.3 材料参数

点击*前处理->材料定义*,弹出图 20 中的材料模型定义对话框,可以设置强度、非均质、本构模型等参数。对话框中的 material 选项,可以添加新材料,而edit 选项可以删除材料,同时也可以右键单击某种材料实现添加、删除和复制。

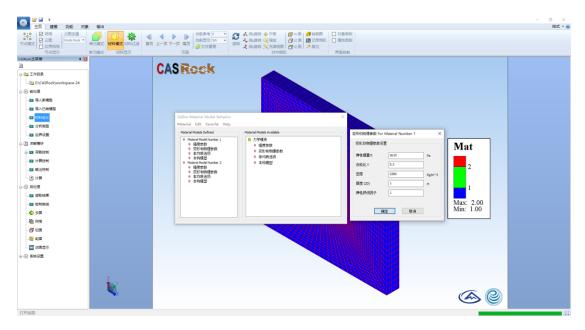


图 20 材料参数赋予界面

4.2.4 分析类型

点击*前处理->分析类型*,出现图 21 所示对话框,可以选择合适的分析类型 并确定。

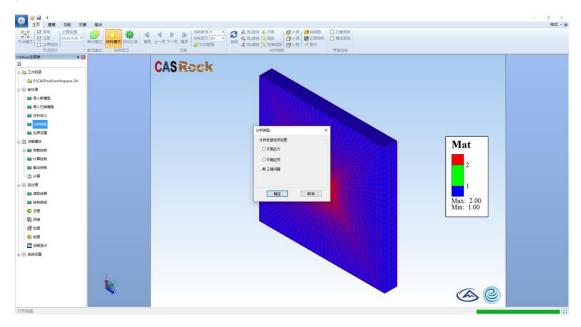


图 21 分析类型选项

4.2.5 边界设置

点击*前处理->边界设置*,出现图 22 所示对话框,可以给模型施加位移和应力边界,仅适用于采用 4.1.1 节方法建立的模型。

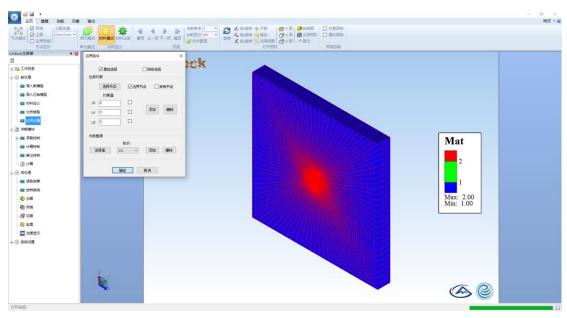


图 22 边界设置

4.3 求解

4.3.1 加载控制

1) 一般静力问题

点击*求解模块->荷载控制->一般静力问题*,出现图 23 所示对话框。设置边界应力(例如围压)大小和增量,可调整位移加载速率、载荷大小、加载步数。其中步幅可编辑。

注: 围压: Pa 荷载大小: N

围压增量: Pa/s 位移加载速率: m/s

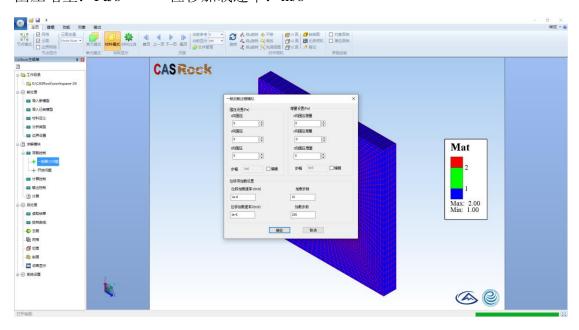


图 23 一般静力问题加载控制选项

2) 开挖问题

点击*求解模块->荷载控制->开挖问题*可进行岩土工程多步开挖模拟设置。图 24 给出了开挖问题的初始地应力三种施加方式。



图 24 开挖问题初始地应力施加方式

如图 25 所示,可通过点击添加来实现数据参数中设置的开挖方案,也可以 从外部文件导入开挖方案。开挖方案可设置多组。

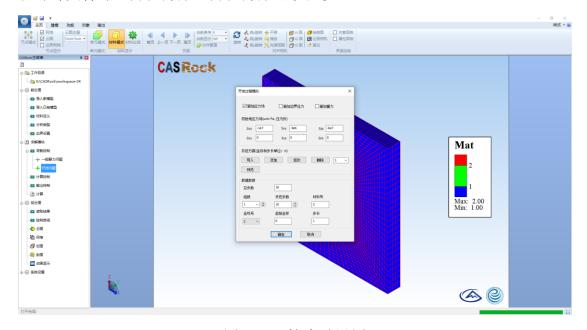


图 25 开挖步骤设置

开挖方案设置完成后,程序会在 input 中生成 Exca_support.txt 文件(图



图 26 Exca_support.txt 文件

4.3.2 计算控制

点击*求解模块->计算控制选项*,弹出图 27 所示对话框,设置塑性容差和最大迭代步。

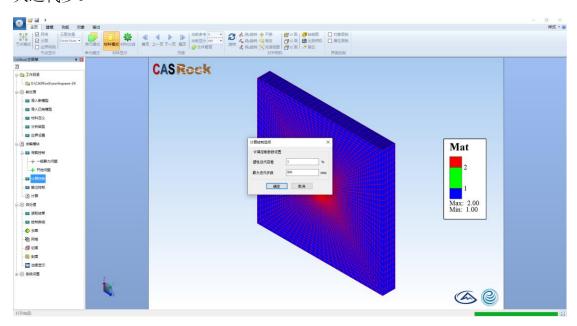


图 27 计算控制参数设置

4.3.3 输出控制

点击*求解模块->输出控制设置*,弹出图 28 所示对话框,可选择不同输出方式。

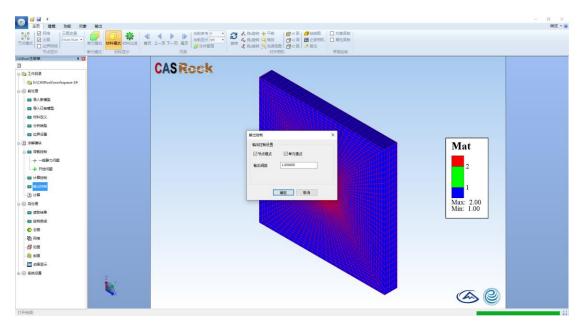
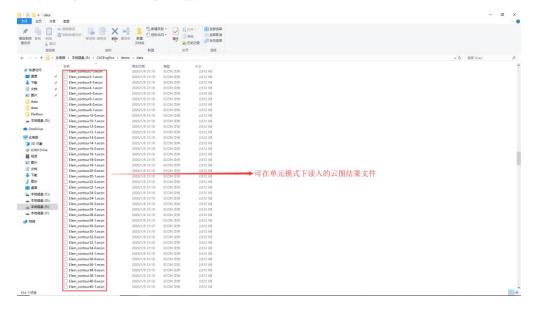


图 28 输出控制设置

data 中单元模式和节点模式输出结果如图 29 所示。



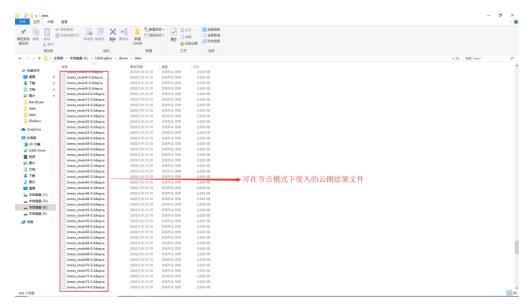


图 29 data 文件中的输出结果

4.3.4 计算

点击 求解模块->计算, 开始计算(图 30)。

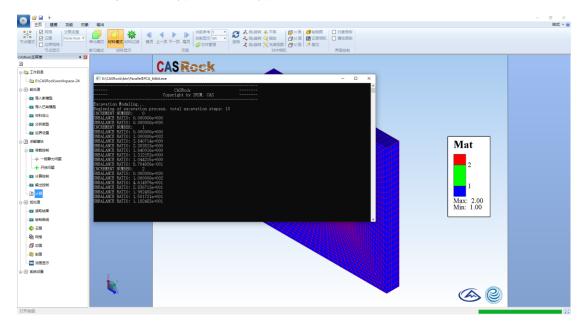


图 30 求解计算

4.4 分析

4.4.1 读取结果

节点显示模式:点击*后处理模块->读取结果*,读取 data 中以"stress_strain" 为前缀、".3depca"为后缀的文件。可以单选(图 31),也可多选(图 32)。

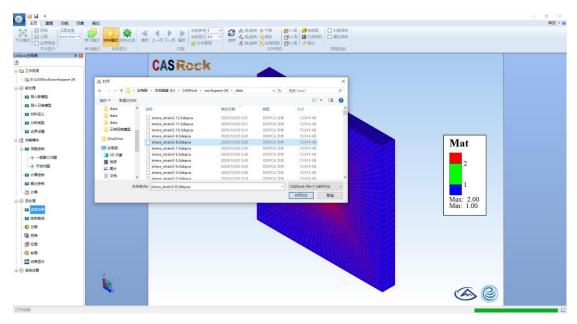


图 31 打开单个文件

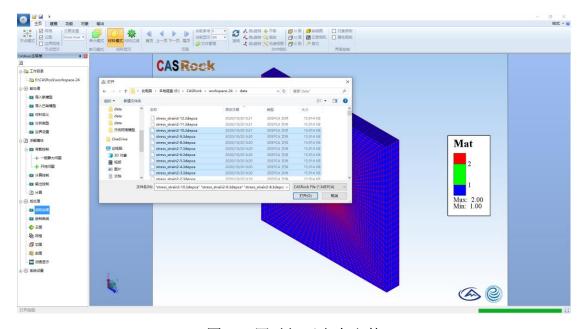


图 32 同时打开多个文件

单元显示模式:点击*后处理模块->读取结果*,如图 33 所示,可读取 data 中以"Elem contour"为前缀、".econ"为后缀的文件。可以单选,也可多选。

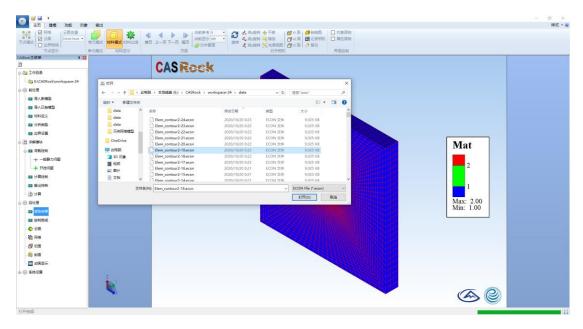


图 33 打开单元模式文件

读取结果选项:

- 1) 替换数据,并复位设置:替换当前主界面视图,替换前的属性设置复位。
- 2)替换数据,并保留原有设置:替换当前主界面视图,替换前的属性设置保留。
- 3)添加数据到当前数据集:添加新数据文件至数据集,可以在菜单栏的页面属性中查看多个数据文件。

4.4.2 云图

打开结果文件后,可以选择变量进行云图显示(图 34)。

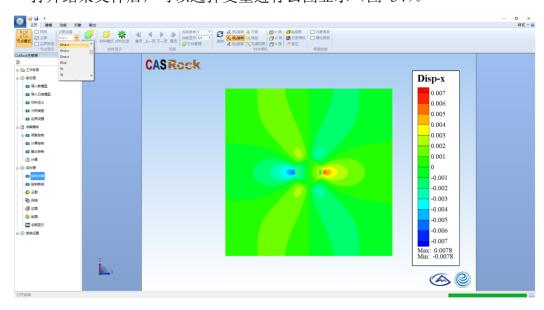


图 34 单元模式下 x 向位移分布云图

Disp-X: x 向位移 Sx: x 向应力

Disp-Y: y 向位移 Sy: y 向应力

Disp-Z: z 向位移 Sz: z 向应力

S1:最大主应力

S2:中间应力

S3:最小主应力

Energy:应变能

RFD:岩石破裂程度

LERR:局部能量释放率

Epstn:等效塑性剪应变

Epttn:等效拉伸应变

4.4.3 网格

可选择是否显示网格,显示网格下,如图 35 所示。

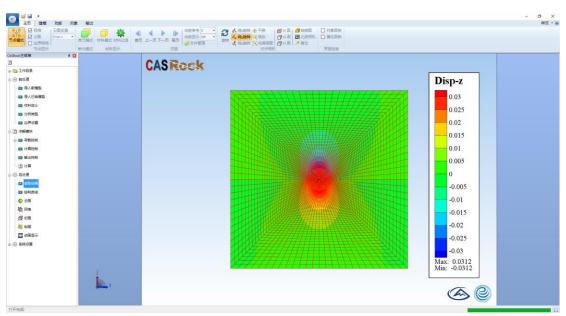


图 35 网格状态

4.4.4 材料模式

可显示不同材料类别,如图 36 所示。

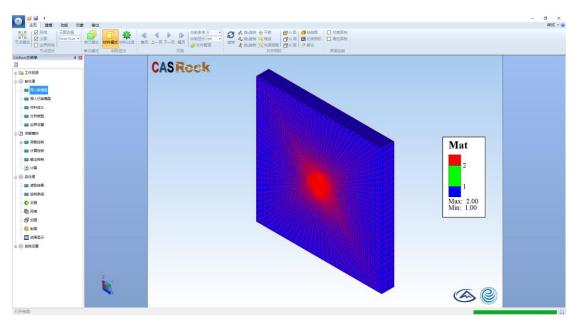


图 36 材料模式

材料过滤: 可将需要观察的部分材料显示。

4.4.5 切面

切面功能如图 37 所示。

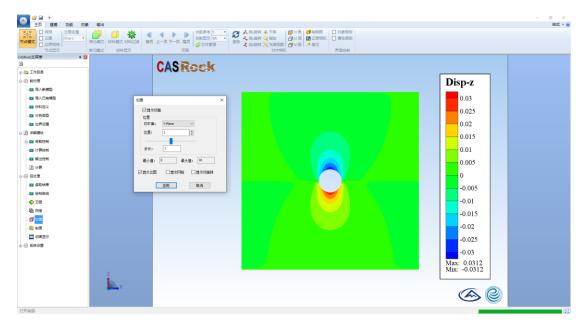


图 37 切面

设置切面后,请关闭云图模式才能显示实际切面。

4.4.6 剖面

剖面功能如图 38。

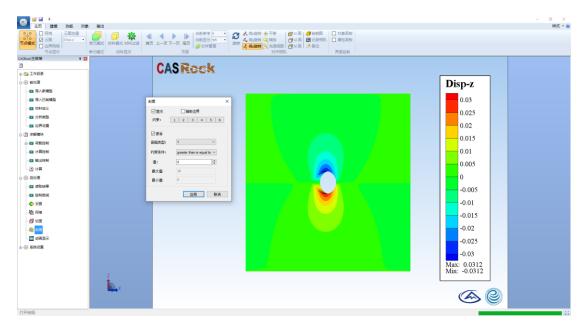


图 38 剖面

抽取边界:将三维模型中实体部分去掉,留下模型表面。

4.4.7 动画显示

读取多个结果文件,点击动画显示,选择开始与结束计算步,如图 39 所示, 点击预览就可得到动态变化过程。可点击输出 AVI 选项保存。

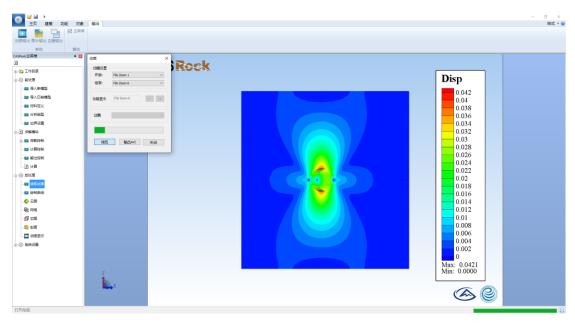


图 39 动画显示

4.4.8 曲线绘制

选择对象->曲线绘制,读取 Disp_Load.txt 文件,可进行曲线绘制。

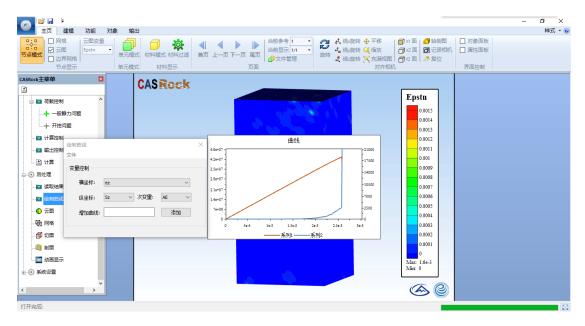


图 40 绘制曲线

4.4.9 变量输出

选择*输出>变量输出*,如图 41 所示,可获得指定直线或者点上的数据并导出。

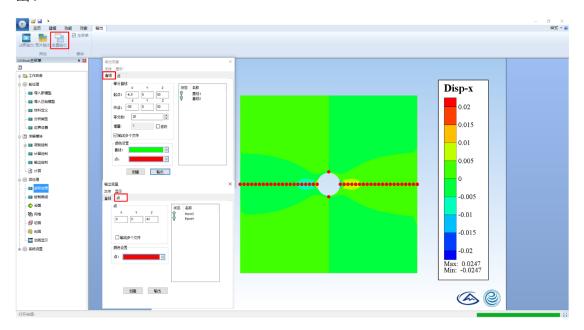


图 41 输出指定点/直线数据

4.5 系统设置

4.5.1 显示设置

如图 42, 可设置背景颜色、破坏区颜色、颜色条字体及精度等。

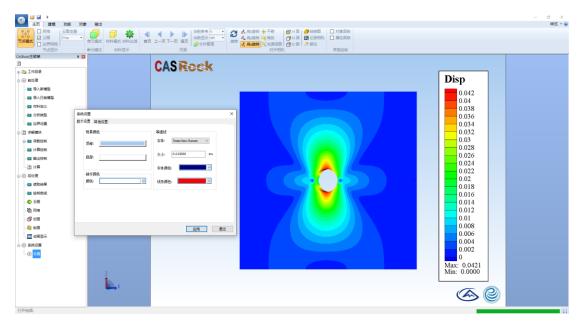


图 42 显示设置

4.5.2 其他设置

如图 43 所示,可以对工作目录、输出文件宽高比及其他标识等进行设置。

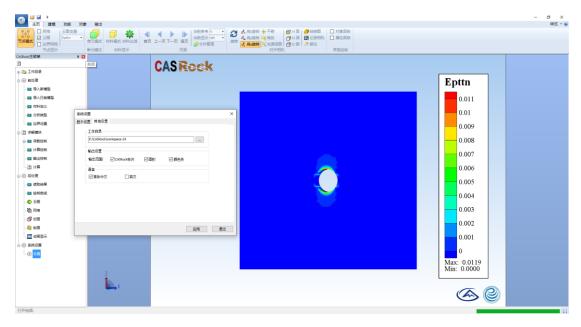


图 43 其他设置

五、菜单栏

5.1 主页

5.1.1 节点显示

- 1) 节点模式: 以节点插值的形式显示的有限元模型
- 2) 网格:显示或隐藏模型网格

- 3) 云图:某一变量在整个有限元模型中的分布
- 4) 边界网格:显示或隐藏模型边界
- 5) 云图变量:选择相应变量,如 Disp-X, Sx, S1, Epstn, RFD 等

5.1.2 单元模式

1) 单元模式:可读入工作目录 data 文件夹下以"Elem_contour"为前缀、"econ" 为后缀的文件,效果如图 44 所示。

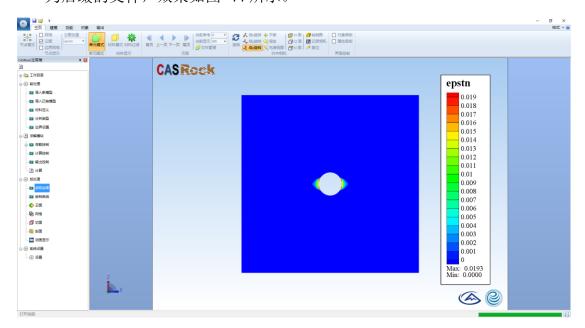


图 44 单元模式

2) 模式设置:可对单元模式下的文件进行放大系数的设置。

5.1.3 材料显示

- 1) 材料模式:显示模型不同材料及材料号,效果同 4.4.4 节所示。
- 2) 材料过滤:显示或隐藏相应材料号对应的材料组。

5.1.4 对齐相机

- 1) 旋转: 在平面或者空间中提供 360°旋转
- 2) 绕 X 旋转: 以 X 轴为中轴线, 绕其任意角度旋转
- 3) 绕 Y 旋转: 以 Y 轴为中轴线, 绕其任意角度旋转
- 4) 绕 Z 旋转: 以 Z 轴为中轴线, 绕其任意角度旋转
- 5) 平移: 单击鼠标左键,可对模型进行移动
- 6) 缩放:按住鼠标左键,并拖动鼠标上下移动,可对模型进行缩小放大。
- 7) 充满视图:模型以最大比例填充视图。

- 8) XY面:提供正视图
- 9) XZ面: 提供右视图
- 10) YZ 面: 提供俯视图
- 11) 轴侧图: 提供三维视角(仅在三维视图中有效)
- 12) 记录相机:记录当前视图的某个位置,以此位置为基准,当视图位置改变时,可复位到基准位置。
- 13) 复位:恢复到记录相机的位置。

5.1.5 页面(只有存在多个数据文件时,该功能才生效)

- 1) 首页: 在同时打开多个数据文件时,最先显示的一组数据文件
- 2) 上一页: 转到当前数据文件的前一个数据文件
- 3) 下一页: 转到当前数据文件的后一个数据文件
- 4) 尾页: 在同时打开多个数据文件时,最后显示的一组数据文件

5.1.6 面板

- 1) 主菜单:软件界面左侧的导航栏,便于快速导入模型,参数赋值,求解分析。
- 2) 协同:用于辅助主菜单显示功能的导航栏,如切面、标记、子窗体。

5.2 建模

5.2.1 二维

1) 矩形: 用于建立二维矩形模型,如图 45。

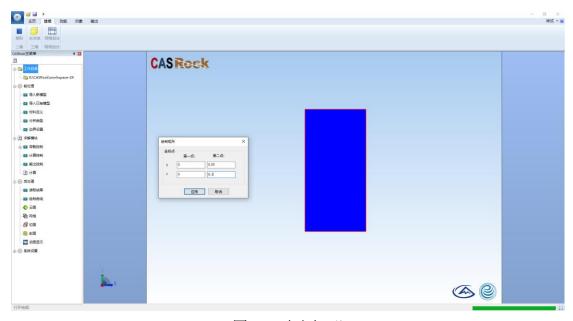


图 45 建立矩形

5.2.2 三维

1) 长方体: 用于建立三维长方体模型, 如图 46。

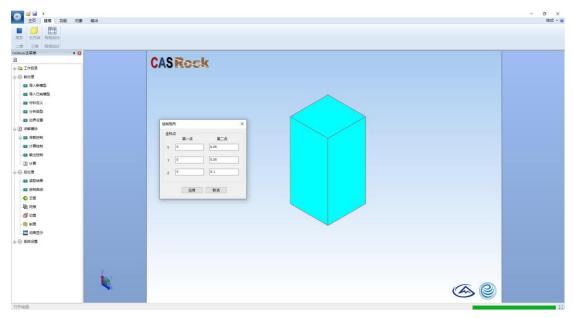


图 46 建立长方体

5.2.3 网格划分

1) 网格划分: 用于对模型进行网格划分, 如图 47。

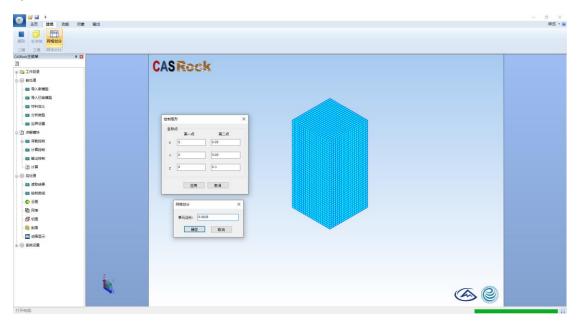


图 47 网格划分

5.3 功能

5.3.1 颜色表

1) 颜色表:将云图中不同的颜色对应不同的取值,可调整相应颜色,如图 48。在同时打开多个数据文件时,最先显示的第一组数据文件

- 2) 修改:对颜色表中对应的取值进行添加、删除等操作
- 3) 显示设置:可调整颜色表位置、样式、格式以及精度等

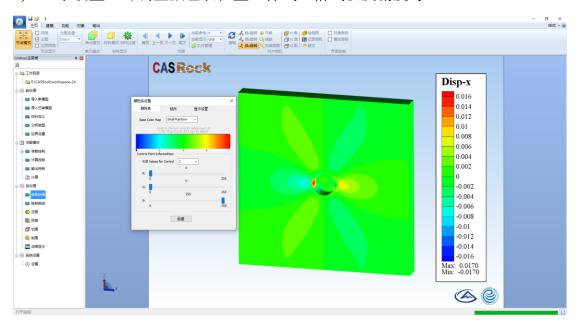


图 48 颜色表系统

- 4) 显示颜色表:在查看结果文件中,系统默认颜色表为开启,也可以取消显示
- 5) 水平显示:将颜色表水平放置在模型的下方
- 6) 垂直显示:将颜色表垂直放置在模型的右侧
- 7) 网格:用于区分不同的颜色界限
- 8) 高度/宽度:用于调整颜色表大小

5.3.2 显示

- 1) 坐标轴:软件界面左下角坐标系图标
- 2) 标尺:显示坐标
- 3) AE/MS:用于标识模型声发射的发生位置,在插入 AE/MS 之后,系统会自动勾选 AE/MS,要关闭 AE/MS,取消勾选即可
- 4) 向量:用于标识物体发生变形趋势,在插入向量之后,系统会自动勾选显示 向量,要关闭向量,取消勾选即可
- 5) 等值线:对某一变量的数量指标值相等的各点连成的平滑曲线
- 6) 切面:显示所给切面
- 7) 剖切:显示所给剖面
- 8) 节点编号:显示模型的节点编号

- 9) 单元编号: 显示模型的单元编号
- 10) 位移边界:显示模型的位移边界,仅适用于采用4.1.1节方法建立的模型。
- 11) 面力条件:显示模型的应力边界,仅适用于采用 4.1.1 节方法建立的模型。

5.3.3 效果

- 1) 灯光: 勾选显示模型所有面
- 2) 亮度:调节模型的可视度
- 3) 透明度:将模型透明化处理,透视度越高,模型越透明

5.3.4 单元显示

用以显示工作目录 data 文件夹下以"eqstn"为前缀,记录模型等效塑性应变应变的文件。

5.3.5 其他

- 1) 选择节点: 查询所选定的每个节点对应的编号信息
- 2) 公式变量:通过编辑已有变量,组合常规运算,形成新的适用具体模拟情节 下的变量,用于扩展已有变量
- 3) 位移缩放:为了观察物体在发生形变之后的具体特征,可根据实际情况对物体变形进行适当放大或缩小
- 4) 边界设置:用于对模型的边界进行设置

5.4 对象

5.4.1 锚杆

- 1) 插入锚杆:根据模拟的需要,通过软件输入相应的锚杆参数,在模型里添加若干个锚杆的功能,具体步骤如下:首先,"对象"象"插入锚杆",然后,选择"文件"件"读取",选择事先准备好的锚杆 TXT 文件打开;最好,点击确定(如图 49)。
- 2) 锚杆云图:用于直观显示插入的锚杆在云图当中的相对位置

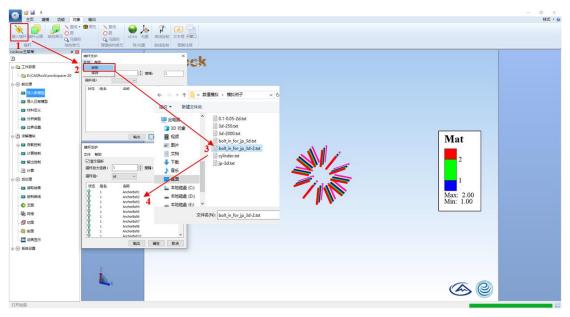


图 49 插入锚杆流程

5.4.2 结构单元

1) 结构单元:用于赋值建模,如图 50。

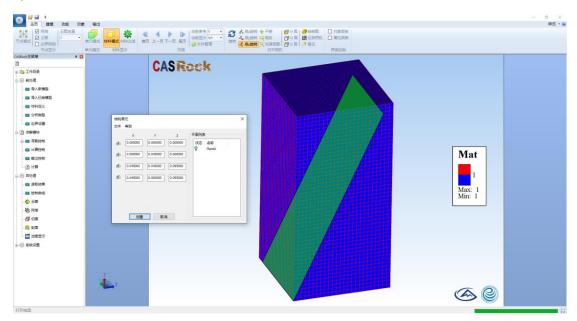


图 50 结构单元

2) 直线:用于赋值建模,如图 51。

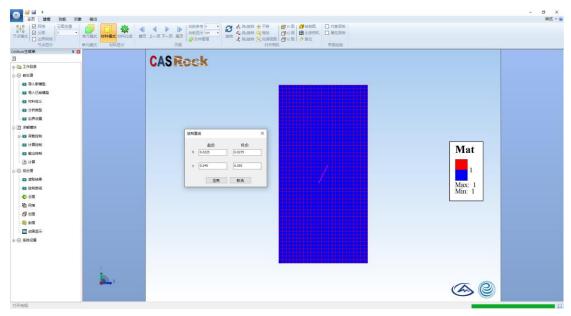


图 51 直线建模

3) 圆:用于赋值建模,如图 52。

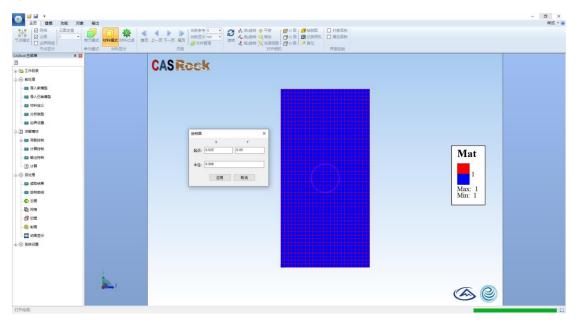


图 52 圆形建模

4) 马蹄形:用于赋值建模,如图 53。

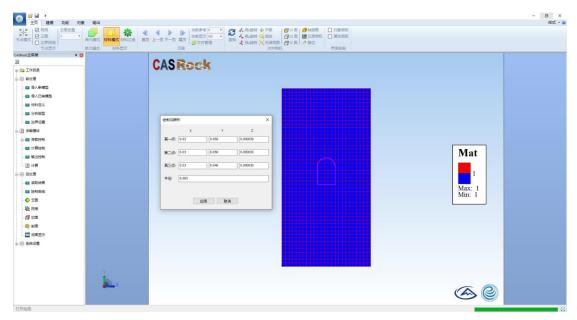


图 53 马蹄形建模

5) 四边形:用于赋值建模,如图 54

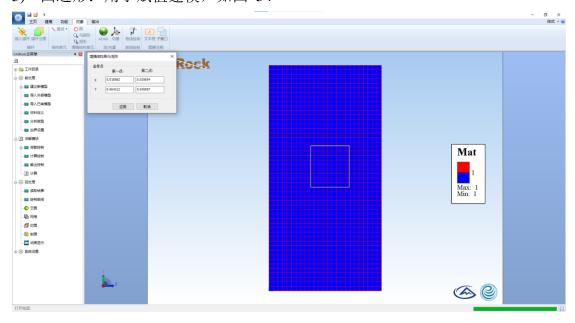


图 54 四边形建模

5.4.3 球/向量

- 1) AE/MS:用于标识模型声发射的发生位置,在插入 AE/MS 之后,系统会自动勾选 AE/MS,要关闭 AE/MS,取消勾选即可
- 2) 向量:用于标识物体发生变形趋势,在插入向量之后,系统会自动勾选显示向量,要关闭向量,取消勾选即可。

5.4.4 曲线绘制

1) 曲线绘制:绘制加载过程中各变量之间的关系曲线。

5.4.5 图解注释

- 1) 文本框:主要用于相关注释性的文字或数学公式的编辑与记录,使得图片输出或者动画输出的内容更加丰富
- 2) 子窗口: 该功能尚未激活,敬请期待

5.5 输出

5.5.1 动画输出

同时选定工作目录下 data 文件夹中多个目标结果文件,如图 55 所示,输出格式为.avi 的视频文件。

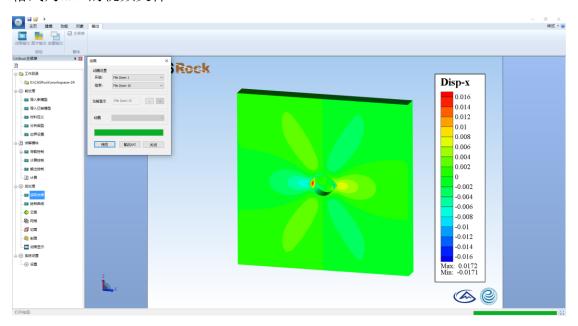


图 55 动画输出界面

5.5.2 图片输出

选定工作目录下 data 文件夹中目标结果文件,可调整图片大小与范围,如图 56 所示,输出格式为.jpg 的图片文件。

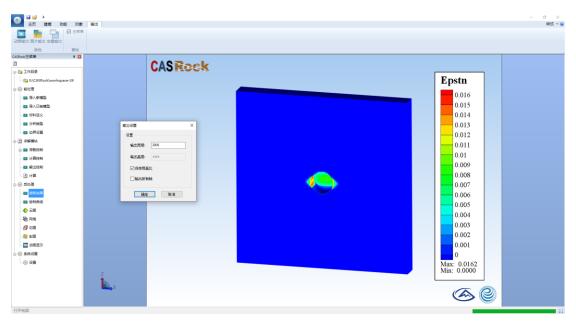


图 56 图片输出界面

5.5.3 变量输出

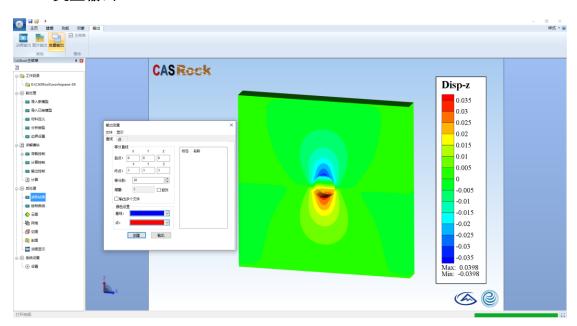


图 57 变量输出界面

针对模型的特定位置,可以是点或线,进行变量提取,只需输入相应的坐标点,如提取点变量,只需要输入相应点的坐标,如需提取线上的变量,除了输入相应线的起始和终点坐标,还要指定线段的等分数。在有多个提取点和多条提取线段时,可以指定是否输出多个文件,如果是,则每个点或每条线上的所有变量数据对应输出一个文件。具体操作步骤可见图 57。

六、典型例子

在安装目录下(路径:\CASRock\data\前处理\示例网格模型)提供了几个典型的例子,这些例子是已经准备好了的网格模型,可以直接导入到软件,设置材料和加载参数,即可进行计算(图 58)。



图 58 示例网格模型

6.1 非均质岩石二维单轴压缩破裂过程

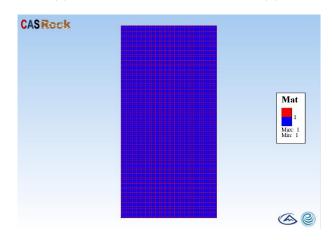
设置工作目录(例如 D:\CASRock\0.1-0.05-2d),从外部导入模型文件(0.1-0.05-2d.txt)或者运用 CASRock 二维建模功能建立模型(图 60),进行材料定义(图 61)、分析类型定义(图 62),进行一般静力问题加载控制设置(图 63)、计算和输出控制(图 64),然后双击计算,开始调用计算程序。需要注意的是,这里首先以 1e-6m/步加载 50 步,再以 5e-7m/步加载 150 步。由于岩石压缩第一阶段为弹性阶段,因此先以较快的速率加载,同时这不影响试验结果且节省计算时间(图 59)。

计算结束后,可以在工作目录下的 data 文件夹查看结果,其中 Disp_Load.txt 记录的是加载过程的应力-应变和声发射信息(其中, steps-加载步数, ex-x 方向 应变, Sx-x 方向应力, ey-y 方向应变, Sy-y 方向应力, ez-z 方向应变, Sz-z 方向应力, AE-累计声发射),可以借助 excel 等软件来进行绘制应力-应变-声发射曲线,利用 CASRock,可以读取结果,显示变量的云图。例如,可以在读取结果的对话框中选择.3depca(图 65),显示某一载荷步的变量云图(图 66)。



(a) 建模功能

(b) 网格划分



(c) 二维模型建立

图 60 二维模型

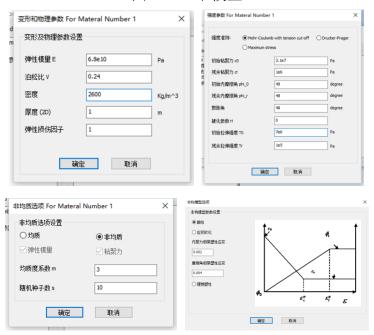


图 61 材料定义

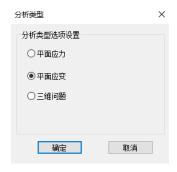


图 62 分析类型定义



图 63 单轴加载控制

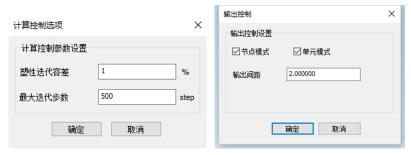


图 64 计算控制和输出控制

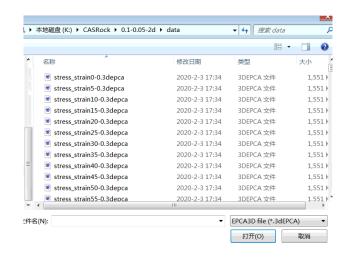


图 65 读取云图结果

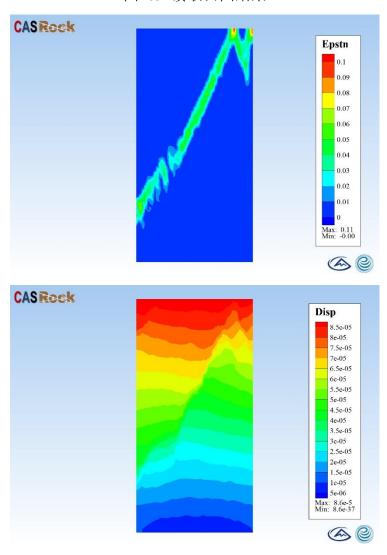


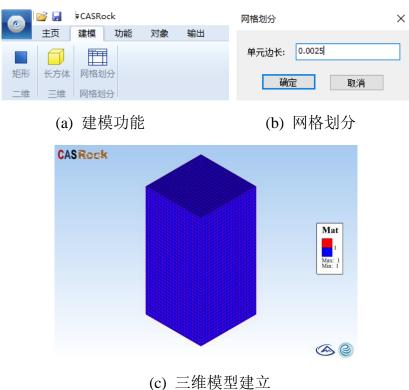
图 66 变量云图

6.2 非均质岩石真三轴压缩破裂过程模拟

开展真三轴压缩破裂过程模拟时,首先将三个方向分别施加 s3 的围压,接

着 s3 保持不变,其他两个方向继续施加围压至 s2,然后在 s1 方向采用位移控制加载直至岩样发生破坏为止(即应力水平到达残余值)。设置工作目录(例如 D:\CASRock\3d-2000),从外部导入模型文件(3d-2000.txt)或者运用 CASRock 三维建模功能建立模型(图 67),进行材料定义(图 68)、分析类型定义(图 69),进行一般静力问题加载控制设置(图 70)、计算和输出控制(图 71),然后双击计算,开始调用计算程序。

计算结束后,可以在工作目录下的 data 文件夹查看结果,其中 Disp_Load.txt 记录的是加载过程的应力-应变和声发射信息(其中, steps-加载步数, ex-x 方向 应变, Sx-x 方向应力, ey-y 方向应变, Sy-y 方向应力, ez-z 方向应变, Sz-z 方向应力, AE-累计声发射),可以借助 excel 等软件来绘制应力-应变-声发射曲线,利用 CASRock,可以读取结果,显示变量的云图。例如,可以在读取结果的对话框中选择.3depca/.econ(图 72),显示某一载荷步的变量云图(图 73 和图 74)。



(c) 三维模型建立 图 67 三维模型

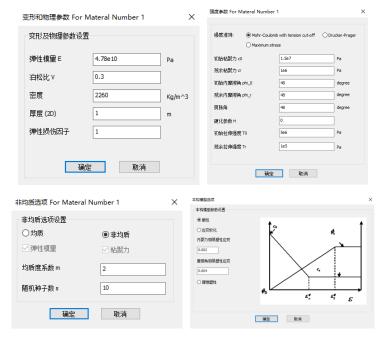


图 68 材料定义



图 69 分析类型定义



图 70 真三轴加载控制

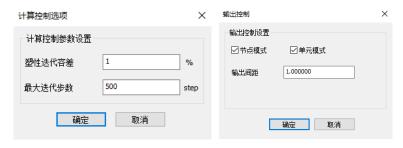


图 71 计算控制和输出控制

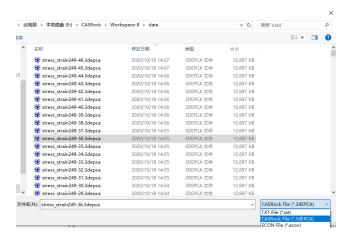
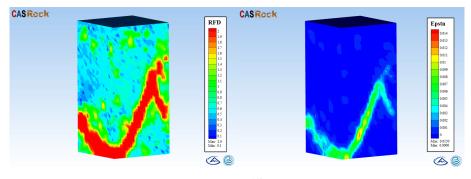
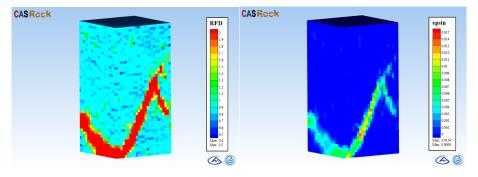


图 72 读取云图结果



(a) 节点模式



(b) 单元模式

图 73 两种模式下 RFD 和 Epstn 云图

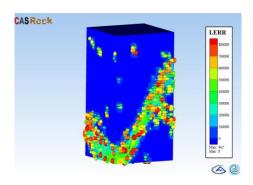


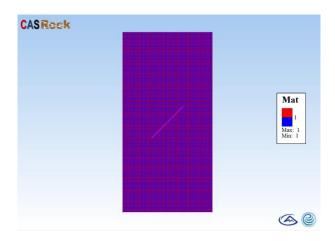
图 74 能量释放率云图

6.3 二维单裂纹扩展模拟

设置工作目录(例如 D:\CASRock\Single-Crack),从外部导入模型文件(0.1-0.05-2d.txt)或者运用 CASRock 二维建模功能建立模型(图 75),进行基质和裂纹材料定义(图 76 和图 77)、分析类型定义(图 78),进行一般静力问题加载控制设置(图 79)、计算和输出控制(图 80),然后双击计算,开始调用计算程序。

计算结束后,可以在工作目录下的 data 文件夹查看结果,其中 Disp_Load.txt 记录的是加载过程的应力-应变和声发射信息(其中, steps-加载步数, ex-x 方向 应变, Sx-x 方向应力, ey-y 方向应变, Sy-y 方向应力, ez-z 方向应变, Sz-z 方向应力, AE-累计声发射),可以借助 excel 等软件来绘制应力-应变-声发射曲线,利用 CASRock,可以读取结果,显示变量的云图。图 81 显示单裂纹模拟结果与实验结果的对比。





(d) 含单裂纹的二维模型建立 图 75 含单裂纹的二维模型

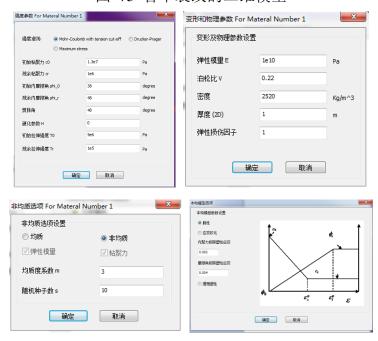


图 76 基质材料定义

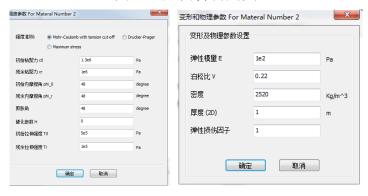




图 77 裂纹材料定义



图 78 分析类型定义



图 79 加载控制



图 80 计算控制和输出控制

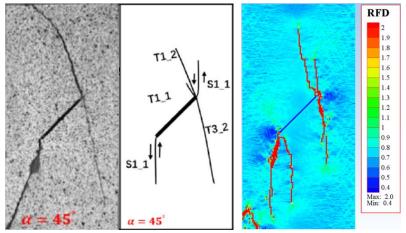


图 81 单裂纹扩展的试验结果与数值结果

6.4 二维隧道开挖和支护过程模拟

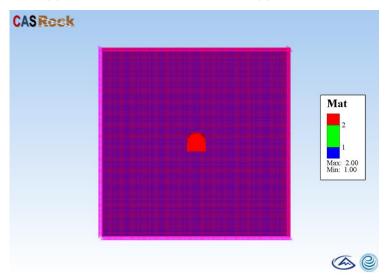
设置工作目录(例如 D:\CASRock\2D-tunnel),从外部导入模型文件(2D-tunnel.txt)或者运用 CASRock 二维建模功能建立模型(图 82)。该模型有两种材料,材料 1 为围岩,材料 2 为待开挖的岩体,两种材料的性质其实是一样的,设置材料 2 是为了识别开挖体,利用材料标识对开挖进行操作。该模型所有边界均滚动支座约束(该模型文件已经包含了约束信息),然后施加应力场,最后进行分步开挖。首先进行材料定义(图 83)、分析类型定义(图 84),需要注意的是,这里假设岩体为均质材料,采用粘聚力弱化和摩擦强化的应变软化模型,所以初始摩擦角较小,意味着岩体初始由粘聚强度控制,随着屈服程度的增加,摩擦强度逐渐控制岩体的强度;由于两种材料性质一样,可以在定义完材料 1 之后,选中 Materal Model Number 1,右键,点击复制,即可生成与材料 1 相同的材料 2(对于开挖问题,需要定义至少两种材料,否则计算会出错)。

进行开挖问题载荷控制设置,包括应力场设置和开挖方案设置(图 85),开挖方案设置时,记得点击"添加"按钮,开挖方案才能生效,之后点击确定,关闭该对话框,之后将锚杆文件插入(图 86)(参考 5.4.1 节),下面进行计算和输出控制(图 87),最后双击计算,开始调用计算程序进行开挖过程模拟。计算结束后,可以在工作目录下的 data 文件夹查看结果,利用 CASRock,可以读取结果,显示变量的云图。例如,可以在读取结果的对话框中选择.3depca(图 88),相关计算结果如图 89 和图 90。



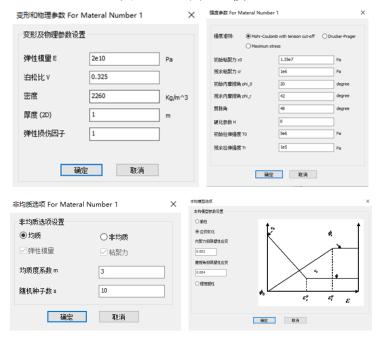
(a) 建模功能

(b) 网格划分



(c) 二维隧道模型建立

图 82 二维隧道模型



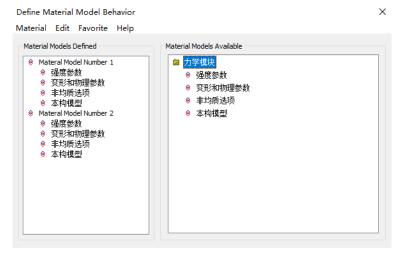


图 83 材料定义

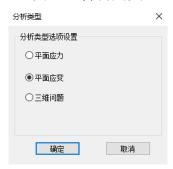


图 84 分析类型定义



图 85 开挖问题应力场设置和开挖方案设置

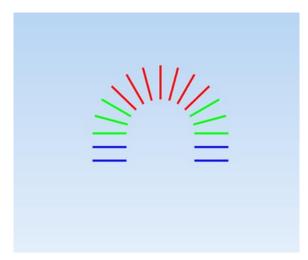


图 86 锚杆排布

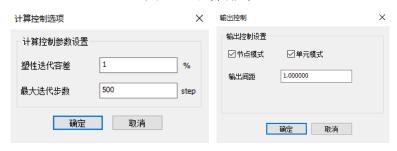


图 87 计算控制和输出控制

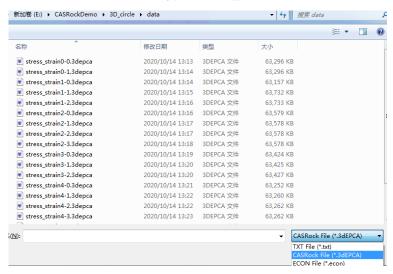
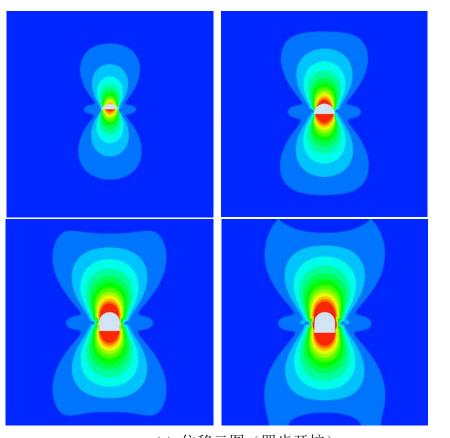
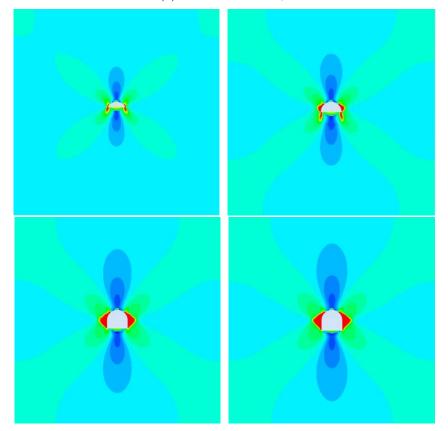


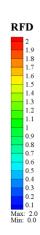
图 88 读取云图结果



(a) 位移云图(四步开挖)



(b) RFD 云图(四步开挖) 图 89 开挖过程云图



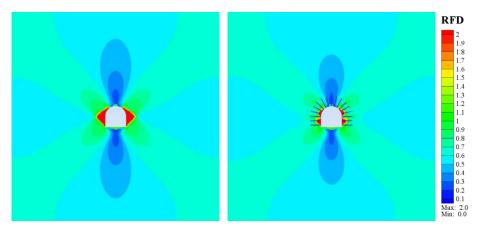
Disp

0.055 - 0.05 - 0.045 - 0.04 - 0.035

0.025

0.015 0.01 0.005

Max: 0.0610 Min: 0.0000



(a) 无锚杆支护

(b) 有锚杆支护

图 90 锚杆支护效果对比云图

6.5 三维隧道开挖过程模拟

设置工作目录(例如 E:\CASRock\100-100-tunnel-3d-exca),从外部导入模型文件 jp-3d.txt(图 58),在 CASRock 界面显示如图 91 的岩体模型,该模型有两种材料,材料 1 为围岩,材料 2 为待开挖的岩体,两种材料的性质其实是一样的,设置材料 2 是为了识别开挖体,利用材料标识对开挖进行操作。该模型所有边界均滚动支座约束(该模型文件已经包含了约束信息),然后施加应力场,最后进行分步开挖。首先进行材料定义(图 92)、分析类型定义(图 93),需要注意的是,这里假设岩体为均质材料,采用粘聚力弱化和摩擦强化的应变软化模型,所以初始摩擦角较小,意味着岩体初始由粘聚强度控制,随着屈服程度的增加,摩擦强度逐渐控制岩体的强度;由于两种材料性质一样,可以在定义完材料 1 之后,选中 Materal Model Number 1,右键,点击复制,即可生成与材料 1 相同的材料 2(对于开挖问题,需要定义至少两种材料,否则计算会出错)。

进行开挖问题载荷控制设置,包括应力场设置和开挖方案设置(图 94),开 挖方案设置时,记得点击"添加"按钮,开挖方案才能生效,之后点击确定,关 闭该对话框,然后进行计算和输出控制(图 95),最后双击计算,开始调用计算 程序进行开挖过程模拟。

计算结束后,可以在工作目录下的 data 文件夹查看结果,利用 CASRock,可以读取结果,显示变量的云图。例如,可以在读取结果的对话框中选择.3depca(图 96),显示某一载荷步的变量云图(图 97),也可以利用 CASRock 的后处理功能对计算的结果进行分析,如图 98。

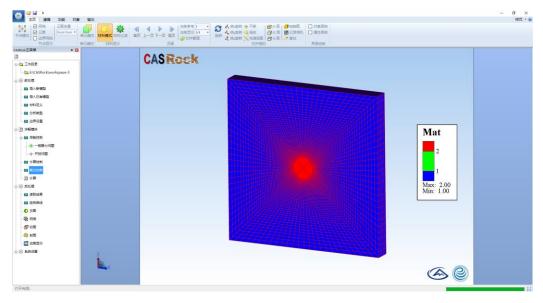


图 91 三维隧道模型

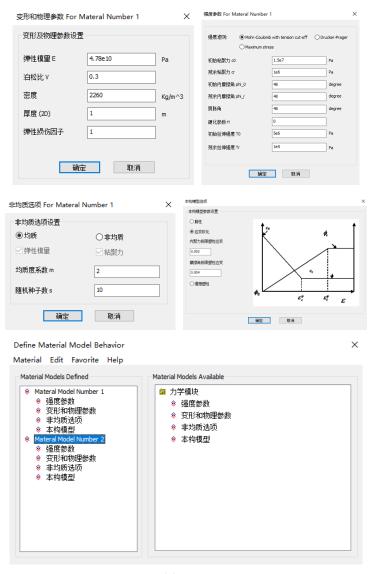


图 92 材料定义



图 93 分析类型定义



图 94 开挖问题应力场设置和开挖方案设置

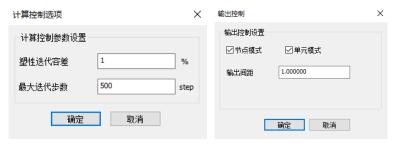


图 95 计算控制和输出控制

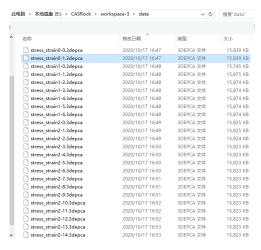


图 96 读取云图结果

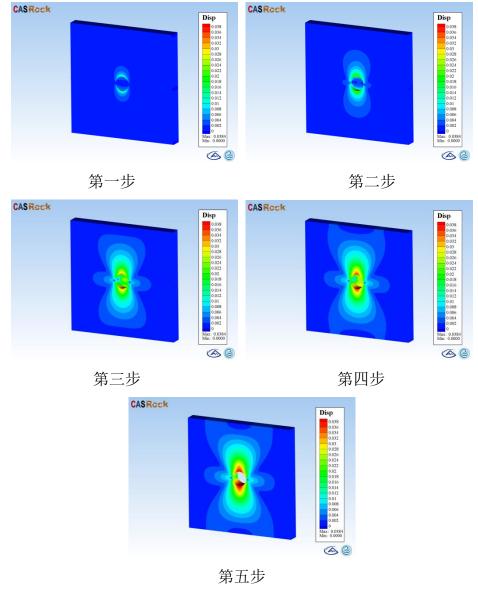


图 97 开挖过程位移云图

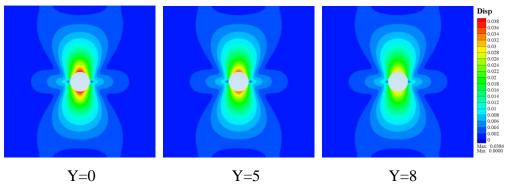
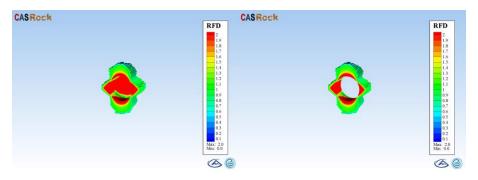


图 98 Y 方向不同位置的位移云图切片显示



(a) 单一约束

(b) 双重约束

图 99 多重条件下剖面显示((a)单一约束,显示 RFD 大于 1.0 的围岩(b)双重约束,显示 RFD 大于 1.0 且 Y 在 0 到 8m 范围)

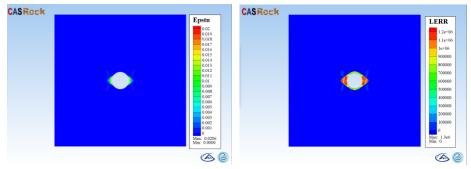


图 100 开挖过程中隧道周围 AE/MS 分布

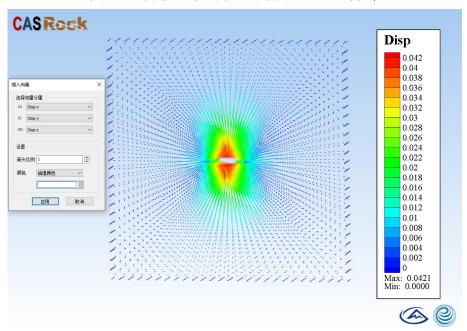


图 101 隧道围岩位移的向量显示

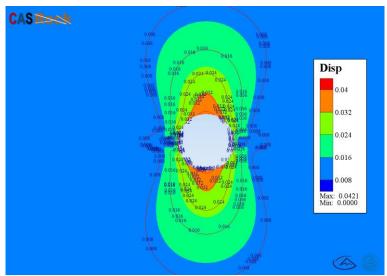


图 102 隧道周边位移等值线显示

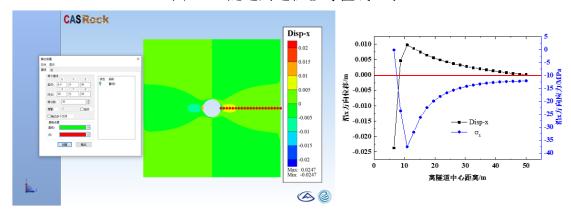


图 103 隧道开挖结束后右侧边墙沿 X 方向的应力和位移变化