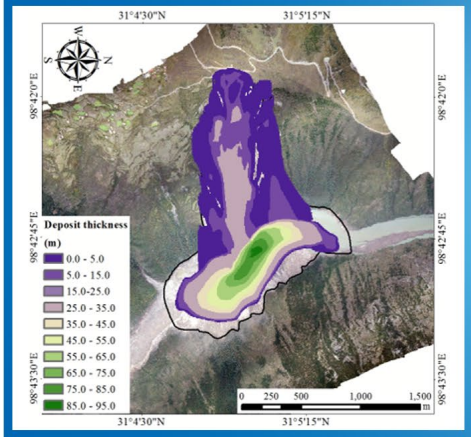
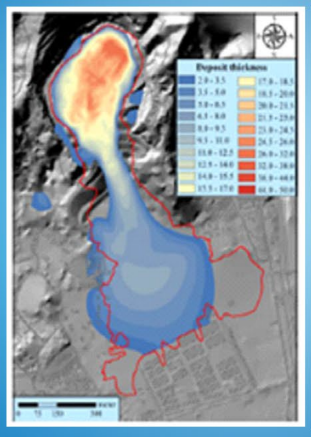
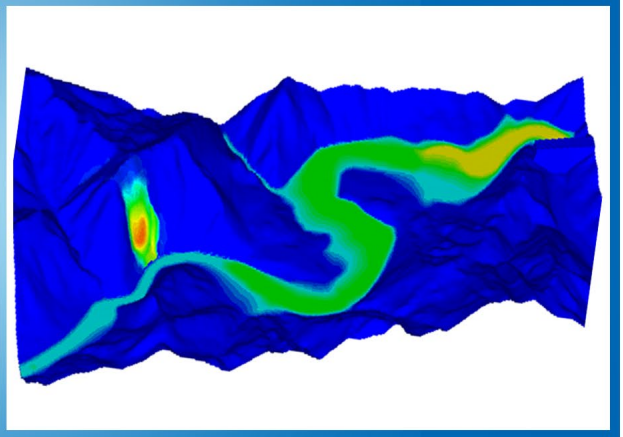
地表灾害动力过程数值模拟软件

Massflow

系统使用手册







成都山地环安科技有限公司

CHENGDU MOUNTAINOUS ENVIRONMENTAL SAFETY TECHNOLOGY CO.LTD

目 录

第 1 章 引言 1
1.1 标识 1
1.2 系统概述 1
1.3 文档概述 1
第 2 章 引用文件 3
2.1 GB/T 8567-2006 计算机软件文档编制规范 3
2.2 T/SIA003-2019 软件产品评估标准 3
第 3 章 软件综述 4
3.1 软件应用 4
3.2 软件清单、软件环境 5
3.3 保密性和私密性 5
3.4 安装步骤 6
3.5 主要开发者简介 7
3.6 Massflow 特征 7
3.7 丰富的物理模型 8
第 4 章 基本原理和方程推导 9
4.1 纳维-斯托克斯控制方程 9
4.1.1 广义深度积分的连续介质力学理论及方法操作 10
4.1.2 方程化简与形式变换 13
4.2 求解方法 15
第 5 章 Massflow 软件组织和操作概述 17
5.1 软件界面介绍 17
5.2 创建模型 17
5.2.1 地形生成 18
5.2.2 初始滑面生成 18
5.3 计算参数设置 19
5.3.1 基本参数设置 20
5.3.2 计算区块设置 21
5.3.3 创建新模型 22

5.3.4 几何分配 23
5.3.5 材料 24
5.3.6 时间设置 25
5.3.7 输出设置 25
5.4 计算 26
5.4.1 查看命令流 26
5.4.2 生成命令流 27
5.4.3 运行 27
5.4.4 停止 28
5.5 结果查看 28
5.5.1 视图 29
5.5.2 线形图 29
5.5.3 动画 30
5.6 数据导出 30
5.6.1 节点数据导出 31
5.6.2 图片导出 32
5.6.3 文档生成 32
5.6 世界地形 33
5.7 工具栏功能 35
5.7.1 菜单栏 1 35
5.7.2 工具栏 1 36
5.7.3 工具栏 2 37
第 6 章 Massflow 命令流介绍 39
命令流解释 39
*nregions 39
*type 39
*erosion 40
*density 40
*grav_inertia 40
*ndim 41
*mbc 41
*remesh 42

*mpi 42
*omp 43
*limiter 43
*q1_flag 43
*solver 44
*create, grid 44
*k, number，x, y, z 45
*rect, number, keypoint_1, keypoint_2, keypoint_3, keypoint_4, region, topo/surface 46
*create, topo 46
*create, surface 48
*create, bound 50
*material 50
*material_assign 52
*time 52
*output 53
第 7 章 计算实例操作 56
case1——二维溃坝数值模拟 56
案例介绍 56
操作步骤 56
本计算实例的命令流文件—input.txt 57
case2——二维滑坡数值模拟 60
案例介绍 60
操作步骤 60
本计算实例的命令流文件—input.txt 61
case3——二维不对称溃坝数值模拟 63
案例介绍 63
操作步骤 63
本计算实例的命令流文件—input.txt 63
case4——二维对称溃坝数值模拟 65
案例介绍 65
操作步骤 65
本计算实例的命令流文件—input.txt 65

case5——L 型水槽实验 67
案例介绍 67
操作步骤 67
本计算实例的命令流文件—input.txt 68
case6——圆柱坍塌数值模拟 69
案例介绍 69
操作步骤 69
本计算实例的命令流文件—input.txt 70
case7——香港滑坡数值模拟 71
案例介绍 71
操作步骤 71
本计算实例的命令流文件—input.txt 72
case8——白格滑坡数值模拟 73
案例介绍 73
操作步骤 73
本计算实例的命令流文件—input.txt 74
case9——易贡滑坡数值模拟 76
案例介绍 76
操作步骤 76
本计算实例的命令流文件—input.txt 77
case10——USGS 水槽泥石流实验模拟 78
案例介绍 78
本计算实例的命令流文件—input.txt 79
第 8 章 帮助和问题报告 80
第 9 章 附录 83

第1章 引言

1.1 标识

软件名称：Massflow 地表灾害动力过程数值模拟软件

最新版本：V2.9

发布日期：2024 年

软件类别：科学计算与数值模拟软件

适用平台：Windows 系统

编程语言：C、C++、C#等

联系信息：地址：四川省成都市成华区招商城市主场 A 座

电话：18200364687

官方网站：www.massflow-software.com

QQ 交流群：436302485

1.2 系统概述

Massflow 地表灾害动力过程数值模拟软件是基于广义深度积分的连续介质力学理论及方法开发的一款高效地表灾害动力过程仿真软件，可模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害及灾害链动力演化过程，还适用于山区流域水文计算、尾矿库溃坝、流固耦合等一系列灾害问题的数值模拟工作，相对于传统的 CFD、DEM 等方法，其计算效率有几个量级的提升，因此在地质灾害动力过程和风险评估领域获得了广泛的应用。通过该软件可实时揭示多种地表过程随时空演化过程，为地质灾害定量风险评估、预测预报、基础设施与城镇规划布局、应急减灾与救灾策略制定提供理论与技术支持。

1.3 文档概述

本用户手册旨在为“Massflow 地表灾害动力过程数值模拟软件”的用户提供全面的操作指南和技术支持。通过阅读本手册，用户可以了解软件的功能特性、安装方法、操作流程、参数设置以及常见问题的解决方法，从而高效地使用该软件进行地表灾害动力过程的数值模拟与分析。

本用户手册包含软件概述、安装与配置、操作指南、示例与案例及相关问题等内

容。本手册目标读者包括但不限于以下人员：

科研人员：从事地质灾害研究、数值模拟及相关领域的科研工作者。

工程技术人员：参与地质灾害评估、工程设计与灾害防治的技术人员。

学生与教师：学习或教授地质、岩土工程、数值模拟等相关课程的学生与教师。

其他用户：对地表灾害动力过程模拟技术有需求、应用场景的其他用户。

第2章 引用文件

2.1 GB/T 8567-2006 计算机软件文档编制规范

编号：GB/T 8567-2006

标题：计算机软件文档编制规范

修订版本：2006 版

来源：中国国家标准化管理委员会发布

2.2 T/SIA003-2019 软件产品评估标准

编号： T/SIA003-2019

标题：软件产品评估标准

日期：2023 年 10 月 31 日

评估机构：四川省软件行业协会

发证机构：中国软件行业协会

第3章 软件综述

3.1 软件应用

Massflow 地表灾害动力过程数值模拟软件是一款高效能地表灾害动力过程仿真软件，可模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害及灾害链动力演化全过程，还适用于山区流域水文计算、尾矿库溃坝、流固耦合等一系列灾害问题的数值模拟工作。通过使用该软件可实时揭示地质灾害随时空演化过程，为地质灾害定量风险评估、基础设施与城镇规划布局、应急减灾与救灾策略制定提供理论与技术支持。

Massflow 2.9 版本以 MacCormack-TVD 有限差分计算算法为核心，界面采用 c++和 c#等语言，计算程序采用 fortran 等语言，软件结合 MPICH 分布式并行与 OpenMP 共享内存并行计算手段，针对地质灾害特征优化网格重划分方法，准确高效开展地质灾害动力过程模拟；软件采用广义深度积分的连续介质力学理论及方法，相对于传统的流体力学计算方法，极大提升了计算效率，在地质灾害动力过程和风险评估领域获得了广泛应用。

当前研究团队正在从模型丰富度、功能完整度、软件易用度等多个方面完善软件，也欢迎大家把您的意见和建议发送给我们，互促互进。

软件扩展应用范围如下：

1. 可用于模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害动力演化全过程；
2. 可用于开展滑坡、泥石流、尾矿库、堆渣场等地质灾害危险性定量风险评价；
3. 可用于山地灾害链动力过程模拟；
4. 可用于水文过程调控模拟；
5. 软件将为泥石流灾害预测预报、定量风险评估、防治工程效果定量评价与主动减灾关键技术研发提供重要的技术支撑。

3.2 软件清单、软件环境

（1）软件清单：主程序文件

文件名：Massflow.exe

版本：V2.9

保密性要求：无特殊保密要求。

私密性要求：软件不收集或传输用户个人数据，但用户在使用时应确保数据的安全。

（2）软件环境：配置电脑支持并行计算的环境

文件名：mpich2-1.4.1p1-win-x86-64.msi；libiomp5md.dll

保密性要求：无特殊保密要求。

私密性要求：软件不收集或传输用户个人数据，但用户在使用时应确保数据的安全。

（3）软件良好运行推荐配置

处理器（CPU）：推荐 Intel Xeon E5 系列或同等性能的 AMD 处理器，建议 8 核或以上，以支持多线程并行计算，提高模拟效率。

内存（RAM）：推荐 16GB 或以上，以确保在处理大规模数据时不会因内存不足而导致性能下降。

存储设备：推荐使用固态硬盘（SSD）作为系统盘，以提高软件启动和运行速度；同时配备大容量机械硬盘（HDD）或更高性能的 NVMe SSD 用于存储模拟数据和结果。

显示器：推荐高分辨率（如 1920x1080 或以上）显示器，以支持清晰图形显示和结果分析。

操作系统：Windows 8 专业版或更高版本。

其他注意事项:确保计算机散热良好，以避免长时间高负荷运行导致的过热问题；定期更新操作系统和软件补丁，以提高安全性和稳定性；’在进行大规模模拟前，建议进行性能测试，以确保计算机配置能够满足模拟需求。

3.3 保密性和私密性

第一条【目的】

成都山地环安科技有限公司（以下简称“本公司”）拥有 Massflow 软件（以下简称“该软件”）的著作权，本说明的目的是为了明确您（无论是个人还是一个独立的机构，以下简称“您”）与本公司之间在使用该软件过程中的义务关系。

第二条【使用许可】

1 本公司根据《计算机软件保护条例》规定，授权您对于软件的使用许可。

2 您可以在被授权许可使用期间以非排他的、非专有的形式使用该软作。

3 本条的使用许可证并不是对著作权的销售，该软件的著作权并不会因为本条的授权使用许可而发生转让。

第三条【软件著作权的归属与保护】

该软件以及该软件相关的附属物（相关资料文档、网页内容等，以下相同）的著作权以及其它相关知识产权皆为本公司拥有。这些权利受中国《计算机软件保护条例》,《中华人民共和国著作权法》及国际条约的保护。

第四条【使用许可期限】

本公司根据与您签订的《Massflow 软件购销合同》中的约定，赋子您使用许可期限。

第五条【使用权的禁止转让等】

根据《计算机软件保护条例》,您无权将该软件的使用权销售、转让、租赁、借予第三方，也无权将其进行任何形式的抵押。

第六条【程序代码反编译】

1 您不得违背相关法规的规定，对该软件进行程序代码的反向工程、反编译、反汇编或解体拆卸等。

2 您不得对该软件以及其附属物进行任意修改、变更和复制，也不得使用该软件创建该软件的衍生工程。

第七条【禁止技术保护措施的侵害】

该软件根据《计算机软件保护条例》为保护该软件的著作权而采取了技术措施。您不得故意避开或者破坏这些技术保护措施。

第八条【免责】

1 本公司不提供条款外的其他任何明示的担保、保证或条件，您需要对该软件的结果自行验证，对其结果的精确度和准确度自行予以判断。

2 本公司对于您或者第三方管理的服务器、局域网、网络等的缺陷以及包括自然灾害等不可抗力而导致的网络认证障碍不负担任何形式的法律责任。

第九条【信息的收集】

1 本公司为了进行用户登录以及网络认证将对安装了该程序的电脑的物理地址（MAC Address）、IP 地址、安装的该软件的版本信息以及运行信息等部分内容进行收集。

2 本公司承担对于您的信息将予以保密，不会提供或者泄露给任何第三方。

第十条【补充规定】

对于本说明中的未尽事宜，以及对于说明条款的解释本公司与您存在争议时，可根据《计算机软作保护条例》法、相关法规以及惯例来予以解释和解决。

3.4 安装步骤

步骤一：登录网站或者 QQ 用户群，下载最新软件安装包，解压 Massflow 压缩包，运行

massflow.exe 执行安装程序。

步骤二：安装完成后打开程序安装目录，进入附带安装包文件夹，依次安装一下程序：

1.先查看电脑中是否已安装.NET:在控制面板—程序和功能—启动或关闭 Whindows 功能中打开.NETFramework（.NET Framework是用于在 Windows 上生成和运行应用程序的软件开发框架。它是 Microsoft .NET 平台的一部分，提供了托管代码的执行环境，打开才能支持软件运行）。

2.安装 mpich2-1.4.1p1-win-x86-64.msi，配置电脑支持并行计算的环境。

3.将 libiomp5md.dll 该 MPI 库文件复制到 C:\Windows\System32 文件夹下，进一步配置配置电脑支持并行计算的环境。

说明：当前只提供 64 位安装程序（32 位已不再提供），另外，二次开发需要安装完整的编译程序，建议安装（Visual Studio 2012+ Intel Fortran 2011（软件二次开发的编程工具，如需二次开发，建议下载按照此版本软件））。大部分电脑都能安装和通过，部分电脑碰到安装问题，可参考后续的常见问题或更换电脑测试安装。

3.5 主要开发者简介

欧阳朝军，华中科技大学工程力学与计算机本科双学位，固体力学博士学位，现任中国科学院成都山地所研究员，中国科学院青促会理事、第二届地球科学分会会长，中国地质学会工程地质专业委员会委员，国家基金委优秀青年基金、谷德振青年奖、青促会优秀会员等获得者。担任 CellPress 合作的综合性期刊 The Innovation 学术编辑（Academic Editor），SCI 期刊 Landslides 和 Journal of Mountain Science 期刊编辑。在 The Innovation，Reviews of Geophysics，Landslides，Engineering Geology 等国际知名期刊上发表 SCI 论文 70 余篇。

3.6 Massflow 特征

- 友好的图形界面；
- 提供核心源代码，支持使用者自主二次开发；
- 命令流建模和执行；
- 计算网格可提升至亿级；
- 具有自适应求解算法；
- 可多核共享内存并行计算；
- 内嵌丰富的物理模型。

3.7丰富的物理模型

- Coulomb（库伦模型）；
- Voellmy（瓦宁模型）；
- Manning（曼宁模型）；
- Bingham（宾汉模型）；
- 自定义。

第4章 基本原理和方程推导

随着计算机与数值模拟技术的发展，滑坡灾害的模拟越来越受到学术界和工程界的关注。常规求解三维不可压缩流体方程的方法已在滑坡模拟领域取得了一定的应用，但是由于存在着计算效率低的弊端，已逐渐不适合大型滑坡灾害的精细化模拟。而自然界发生的大多数滑坡灾害具有滑坡厚度与运动距离比值较低，深度方向的速度相对于其运动方向的速度可以忽略不计以及其碎屑物质的主要粒径远小于其垂向深度的特点。因此，可以认为滑坡灾害在其运动过程中垂直于运动方向的物理量（力、速度、压强等）所产生的影响是可忽略不计的。所以可基于上述特点对三维不可压缩流体控制方程在深度方向进行积分操作，将复杂的三维问题简化成二维问题，既保证了对滑坡体运动过程的动力学特性的充分描述又极大的提升了计算效率，使得大型滑坡灾害快速高效的模拟成为了可能。下面详细阐述广义深度积分的连续介质力学理论、方法以及控制方程。

4.1 纳维-斯托克斯控制方程

如公式（4.1）-（4.2）所示，三维的纳维-斯托克斯方程考虑流体密度、动量等变量在 x、y、z 三个方向的空间分布，结合特定的初始及边界条件，可以对各种流动现象作出详细的描述。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\nabla\cdot(\rho\mathbf{u})=0 \tag{4.1}$$

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\nabla\cdot(\rho\mathbf{u})=\frac{\partial}{\partial t}(\rho\mathbf{u})+\nabla\cdot(\rho\mathbf{u}\otimes\mathbf{u})=\rho\mathbf{g}-\nabla P+\nabla\cdot\boldsymbol{\tau} \tag{4.2}$$

其中，ρ 为流体的密度，$\mathbf{u}$是流体的速度矢量，P 代表静水压强，$\boldsymbol{\tau}$为流体的剪切应力张量。$\boldsymbol{g}$ 为重力矢量可表示为：

$$\begin{pmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{pmatrix}=\begin{bmatrix} \cos(\theta_y) & 0 & -\sin(\theta_y) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\theta_y) & 0 & \cos(\theta_y) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\theta_x) & \sin(\theta_x) \\ 0 & -\sin(\theta_x) & \cos(\theta_x) \end{bmatrix}\begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ -g \end{pmatrix} \tag{4.3}$$

在不考虑基底物质的带入和带出时，流动层上下边界条件有

$$\frac{\partial z_s}{\partial t}+v_{xs}\frac{\partial z_s}{\partial x}+v_{ys}\frac{\partial z_s}{\partial y}-v_{zs}=0 \tag{4.4}$$

$$\frac{\partial z_b}{\partial t}+v_{xb}\frac{\partial z_b}{\partial x}+v_{yb}\frac{\partial z_b}{\partial y}-v_{zb}=0 \tag{4.5}$$

其中下标s和z分别表示流动层的上下表面；v_x和v_y分表表示速度矢量在x和y方向的分量。

4.1.1 广义深度积分的连续介质力学理论及方法操作

深度积分是指在流体的深度方向上对质量守恒方程、动量守恒方程进行积分操作，若不考虑流体的密度在z 方向的演化，即控制方程中的密度可用平均密度表示$\overline{\rho}$ ：

$$\overline{\rho}=(1/h)\int_{z_b}^{z_s}\rho dz \tag{4.6}$$

具体积分过程如下：

4.1.1.1 质量方程积分

将平均密度$\overline{\rho}$带入式（4.1）并积分有：

$$\int_{z_b}^{z_s}\left[\frac{\partial\overline{\rho}}{\partial t}+\frac{\partial\left(\overline{\rho}v_x\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(\overline{\rho}v_y\right)}{\partial y}+\frac{\partial\left(\overline{\rho}v_z\right)}{\partial z}\right]dz=0 \tag{4.7}$$

运用莱布尼兹法则展开有：

$$
\begin{aligned}
&= h\frac{\partial\overline{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_y\right)}{\partial y} + \overline{\rho}\left(v_{zs} - v_{zs}\right) + \\
&\overline{\rho}\left[\begin{array}{l}\left(\frac{\partial}{\partial x}\int_{z_b}^{z_b} v_x dz - v_{xs}\frac{\partial z_s}{\partial x} + v_{xb}\frac{\partial z_b}{\partial x}\right) + \\ \left(\frac{\partial}{\partial y}\int_{z_b}^{z_b} v_y dz - v_{ys}\frac{\partial z_s}{\partial y} + v_{yb}\frac{\partial z_b}{\partial y}\right)\end{array}\right] \\
&= h\frac{\partial\overline{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_y\right)}{\partial y} - \\
&\overline{\rho}\left(v_{xs}\frac{\partial z_s}{\partial x} + v_{ys}\frac{\partial z_s}{\partial y} - v_{zs}\right) + \overline{\rho}\left(v_{xb}\frac{\partial z_b}{\partial x} + v_{yb}\frac{\partial z_b}{\partial y} - v_{zb}\right)
\end{aligned}
\tag{4.8}
$$

带入上下界面边界条件式（4.4）和式（4.5）化简得：

$$
\frac{\partial(\overline{\rho}h)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_y\right)}{\partial y} = 0 \tag{4.9}
$$

4.1.1.1 x方向动量方程积分

同样将平均密度 $\overline{\rho}$ 带入式（4.2）并积分，方程的左边项有：

$$
\int_{z_b}^{z_s}\left[\frac{\partial\left(\overline{\rho}v_x\right)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}v_x^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}v_x v_y\right)}{\partial y} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}v_x v_z\right)}{\partial z}|\right]dz \tag{4.10}
$$

运用莱布尼兹公式展开有：

$$
\begin{aligned}
&= \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\right)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\overline{v}_y\right)}{\partial y} \\
&+ \frac{\partial}{\partial x}\overline{\rho}\int_{z_b}^{z_s}\left(v_x - \overline{v}_x\right)^2 dz + \frac{\partial}{\partial y}\overline{\rho}\int_{z_b}^{z_s}\left(v_x - \overline{v}_x\right)\left(v_y - \overline{v}_y\right)dz \\
&- \overline{\rho}v_{xs}\left(\frac{\partial z_s}{\partial t} + v_{xs}\frac{\partial z_s}{\partial x} + v_{ys}\frac{\partial z_s}{\partial y} - v_{zx}\right) + \\
&\overline{\rho}v_{ys}\left(\frac{\partial z_b}{\partial t} + v_{xb}\frac{\partial z_b}{\partial x} + v_{yb}\frac{\partial z_b}{\partial y} - v_{zb}\right)
\end{aligned}
\tag{4.10}
$$

动量分布系数 $\beta_{v_y v_x}$ 和 $\beta_{v_y v_y}$ 可表示为：

$$\beta_{v_y v_x} = \left(1 / h\overline{v}_x^2\right)\int_{z_b}^{z_z} v_x^2 dz \tag{4.11}$$

$$\beta_{v_y v_y} = \left(1 / h\overline{v}_x\overline{v}_v\right)\int_{z_b}^{z_z} v_x v_y dz \tag{4.13}$$

带入上下界面边界条件式（4.4）、式（4.5）、式（4.12）和式（4.13）化简得：

$$\frac{\partial\left(\overline{\rho}h\overline{v}_x\right)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\beta_{v_x v_x}\overline{\rho}h\overline{v}_x^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\beta_{v_x v_y}\overline{\rho}h\overline{v}_x\overline{v}_y\right)}{\partial y} \tag{4.14}$$

同理，对方程右边项积分有：

$$\begin{aligned}
&\int_{z_b}^{z_s}\left(\rho g_x + \left(\frac{\partial\tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial\tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial\tau_{zx}}{\partial z}\right)\right)dz \\
&= \overline{\rho}g_x h + \frac{\partial\left(\overline{\tau}_{xx}h\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\tau}_{xy}h\right)}{\partial y} - \left(\left(\tau_{xx}\right)_s\frac{\partial z_s}{\partial x} + \left(\tau_{xy}\right)_s\frac{\partial z_s}{\partial y} - \left(\tau_{zx}\right)_s\right) \\
&+ \left(\left(\tau_{xx}\right)_b\frac{\partial z_s}{\partial x} + \left(\tau_{xy}\right)_b\frac{\partial z_s}{\partial y} - \left(\tau_{zx}\right)_b\right) \\
&= \overline{\rho}g_x h + \frac{\partial\left(\overline{\tau}_{xx}h\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\overline{\tau}_{xy}h\right)}{\partial y} + \left(\left(\tau_{xx}\right)_b\frac{\partial z_s}{\partial x} + \left(\tau_{xy}\right)_b\frac{\partial z_s}{\partial y} - \left(\tau_{zx}\right)_b\right)
\end{aligned} \tag{4.15}$$

剪应力项τ_{xy}其贡献较小可以忽略，而正应力τ_{xx}由Mohr-coulomb理论可得：

$$\tau_{xx} = -k_{ap}\overline{\rho}g_z(h - z) \tag{4.16}$$

k_{ap}为土压力系数，表达如下：

$$k_{ap} = \begin{cases} k_{\text{active}} & (\partial u/\partial x + \partial v/\partial y > \varepsilon) \\ 1 & (\partial u/\partial x + \partial v/\partial y| \le \varepsilon) \\ k_{\text{passive}} & (\partial u/\partial x + \partial v/\partial y < -\varepsilon) \end{cases} \tag{4.16}$$

其中，ε是一个用于避免数值误差而引起对流体运动状态误判的一个小量，而k_{active}和k_{passive}分别表示侧向土压力在主动和被动状态，可表示为：

$$\left.\begin{matrix} k_{\text{active}} \\ k_{\text{passive}} \end{matrix}\right\} = \frac{2}{\cos^2\varphi} \times \left[1 \mp \sqrt{1 - \left(1 + \tan^2\delta\right)\cos^2\varphi}\right] - 1 \tag{4.17}$$

其中，φ 和 δ 分别为运动体材料的内摩擦角和基底摩擦角

带入式（4.16）至式（4.15）化简得：

$$\bar{\rho}g_x h - k_{ap}\bar{\rho}g_z h\frac{\partial\left(h+z_b\right)}{\partial x} - \left(\tau_{zx}\right)_b \tag{4.18}$$

综上x 方向动量方程积分后可表示为：

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\left(\bar{\rho}h\bar{v}_x\right)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\beta_{v_x v_x}\bar{\rho}h\bar{v}_x^2\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\beta_{v_x y_y}\bar{\rho}h\bar{v}_x\bar{v}_y\right)}{\partial y} = \\ &\bar{\rho}g_x h - k_{ap}\bar{\rho}g_z h\frac{\partial\left(h+z_b\right)}{\partial x} - \left(\tau_{zx}\right)_b\end{aligned} \tag{4.19}$$

4.1.1.3 y方向动量方程积分

y方向动量方程积分过程大体与x方向相同，积分后的方程可表示为：

$$\begin{aligned}&\frac{\partial\left(\bar{\rho}h\bar{v}_y\right)}{\partial t} + \frac{\partial\left(\beta_{v_x v_y}\bar{\rho}h\bar{v}_x\bar{v}_y\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(\beta_{v_y,v_y}\bar{\rho}h\bar{v}_y^2\right)}{\partial y} \\ &= \bar{\rho}g_y h - k_{ap}\bar{\rho}g_z h\frac{\partial\left(h+z_b\right)}{\partial y} - \left(\tau_{zy}\right)_b\end{aligned} \tag{4.21}$$

4.1.1.4 z方向动量方程积分

由于深广义深度积分的连续介质力学理论及方法前提假设是z 方向的物理量的影响是可以忽略的，对z方向进行深度积分以后得到流体静力学平衡方程：

$$\tau_{zz} = -\bar{\rho}g_z h \tag{4.22}$$

4.1.2 方程化简与形式变换

由于前文假设了流体的密度不随时间演进而变化，所以 $\bar{\rho}$ 是一个常量，可从积分式中提取出来对其化简。简化后方程可表示：

$$\frac{\partial(h)}{\partial t} + \frac{\partial\left(h\bar{v}_x\right)}{\partial x} + \frac{\partial\left(h\bar{v}_y\right)}{\partial y} = 0 \tag{4.23}$$

$$\frac{\partial\left(h\overline{v}_x\right)}{\partial t}+\frac{\partial\left(\beta_{v_xv_x}h\overline{v}_x^2\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(\beta_{v_xv_y}h\overline{v}_x\overline{v}_y\right)}{\partial y}=g_xh-k_{ap}g_zh\frac{\partial\left(h+z_b\right)}{\partial x}-\frac{\left(\tau_{zx}\right)_b}{\overline{\rho}} \tag{4.24}$$

$$\frac{\partial\left(h\overline{v}_y\right)}{\partial t}+\frac{\partial\left(\beta_{v_xv_y}h\overline{v}_x\overline{v}_y\right)}{\partial x}+\frac{\partial\left(\beta_{v_yv_y}h\overline{v}_y^2\right)}{\partial y}=g_yh-k_{ap}g_zh\frac{\partial\left(h+z_b\right)}{\partial y}-\frac{\left(\tau_{zy}\right)_b}{\overline{\rho}} \tag{4.22}$$

将积分后的质量守恒方程和动量守恒方程写为如下向量形式：

$$\frac{\partial\boldsymbol{X}}{\partial t}+\frac{\partial\boldsymbol{F}}{\partial x}+\frac{\partial\boldsymbol{G}}{\partial y}=\boldsymbol{S}+\boldsymbol{T} \tag{4.23}$$

其中，向量**X**、**F**、**G**、S和**T**可表示如下：

$$\boldsymbol{X}=\begin{Bmatrix}h\\h\overline{v}_x\\h\overline{v}_y\end{Bmatrix};\boldsymbol{F}=\begin{Bmatrix}h\overline{v}_x\\\beta_{v_xv_x}h\overline{v}_x\overline{v}_x+\dfrac{k_{ap}g_zh^2}{2}\\\beta_{v_xv_y}h\overline{v}_x\overline{v}_y\end{Bmatrix};$$

$$\boldsymbol{G}=\begin{Bmatrix}h\overline{v}_y\\\beta_{v_xv_y}h\overline{v}_x\overline{v}_y\\\beta_{v_yv_y}h\overline{v}_y\overline{v}_y+\dfrac{k_{ap}g_zh^2}{2}\end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{S}=\begin{Bmatrix}0\\g_xh-k_{ap}gh\dfrac{\partial z_b}{\partial x}-\dfrac{\left(\tau_{zx}\right)_b}{\overline{\rho}}\\0\end{Bmatrix},\mathbf{T}=\begin{Bmatrix}0\\0\\g_yh-k_{ap}gh\dfrac{\partial z_b}{\partial y}-\dfrac{\left(\tau_{zy}\right)_b}{\overline{\rho}}\end{Bmatrix} \tag{4.27}$$

4.2 求解方法

（1）MacCormack-TVD有限差分计算算法

液相控制方程的本文中广义深度积分的连续介质力学控制方程的数值求解方法采用时间和空间上具有二阶精度的MacCormack-TVD有限差分格式，编程语言采用Fortran语言。

首先，将式（4.26）的向量形式通过算子分裂技术分裂为一维的两个算子进行求解：

$$\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial t}+\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial x}=\mathbf{S},\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial t}+\frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y}=\mathbf{T} \tag{4.28}$$

（2）自适应算法及网格重划分算法

方程组未知量在时间上的推进采用 Strang 型算子分裂技术，具体可表示为如下形式：

$$\mathbf{X}_{i,j}^{n+1}=L_x 2\left(\frac{\Delta t}{2}\right)L_y 2\left(\frac{\Delta t}{2}\right)L_y 1\left(\frac{\Delta t}{2}\right)L_x 1\left(\frac{\Delta t}{2}\right)\mathbf{X}_{i,j}^{n} \tag{4.29}$$

其中，L_x 和 L_y 分别代表x和y方向的一个预测—修正—平均的计算步，每一个分裂算子需要进行两次以得到下一个时刻步的结果。以 $L_x 1$ 分裂算子为例，给出具体的计算过程：

$$\mathbf{X}_{i,j}^{p}=\mathbf{X}_{i,j}^{n}-\left(\mathbf{F}_{i,j}^{n}-\mathbf{F}_{i-1,j}^{n}\right)\cdot\frac{\Delta t}{2\Delta x}+\mathbf{S}_{i,j}^{n}\cdot\Delta t/2 \tag{4.24}$$

$$\mathbf{X}_{i,j}^{c}=\mathbf{X}_{i,j}^{n}-\left(\mathbf{F}_{i+1,j}^{p}-\mathbf{F}_{i,j}^{p}\right)\cdot\frac{\Delta t}{2\Delta x}+\mathbf{S}_{i,j}^{p}\cdot\Delta t/2 \tag{4.31}$$

$$\begin{aligned}\mathbf{X}_{i,j}^{n+1/2}&=\left(\mathbf{X}_{i,j}^{p}+\mathbf{X}_{i,j}^{c}\right)/2+\left[G\left(\mathbf{r}_{i,j}^{+}\right)+G\left(\mathbf{r}_{i+1,j}^{-}\right)\right]\Delta\mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n}\\&-\left[G\left(\mathbf{r}_{i-1,j}^{+}\right)+G\left(\mathbf{r}_{i,j}^{-}\right)\right]\Delta\mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n}\end{aligned} \tag{4.25}$$

其中，下标 p 和 c 分别代表预测步和修正步，并且，

$$\mathbf{r}_{i,j}^{+}=\frac{\left(\Delta\mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n},\Delta\mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n}\right)}{\left(\Delta\mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n},\Delta\mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n}\right)},\quad \mathbf{r}_{i,j}^{-}=\frac{\left(\Delta\mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n},\Delta\mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n}\right)}{\left(\Delta\mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n},\Delta\mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n}\right)} \tag{4.26}$$

其中，

$$\Delta \mathbf{X}_{i+1/2,j}^{n}=\left(\mathbf{X}_{i+1,j}^{n}-\mathbf{X}_{i,j}^{n}\right),\quad \Delta \mathbf{X}_{i-1/2,j}^{n}=\left(\mathbf{X}_{i,j}^{n}-\mathbf{X}_{i-1,j}^{n}\right) \tag{4.34}$$

函数 $G()$ 可表示如下：

$$G(\theta)=0.5\times C\times[2-\varphi(\theta)] \tag{4.35}$$

其中，$\varphi(\theta)$ 是通量限制器函数。在这里，我们采用了 MC 限制器，可以写成如下的形式：

$$\varphi(\theta)=\max\left(0,\min\left(2,2\theta,\frac{1+\theta}{2}\right)\right. \tag{4.27}$$

其中，θ 是一个函数变量。变量 C 可表示如下：

$$C=\begin{cases}Cr\times(1-Cr) & \mathrm{Cr}\le 0.5\\ 0.25 & \mathrm{Cr}>0.5\end{cases} \tag{4.28}$$

用于计算时间步的库朗数 Cr 定义如下：

$$Cr=\frac{(|\overline{u}|+\sqrt{gh})\Delta t}{2\Delta x} \tag{4.38}$$

第5章 Massflow 软件组织和操作概述

5.1 软件界面介绍

1. 工具栏：软件的导入、保存、工具、帮助及模型的部分快捷操作功能；
2. 项目菜单：完成项目的功能性操作；
3. 模型显示窗口；
4. 软件的提示窗口。

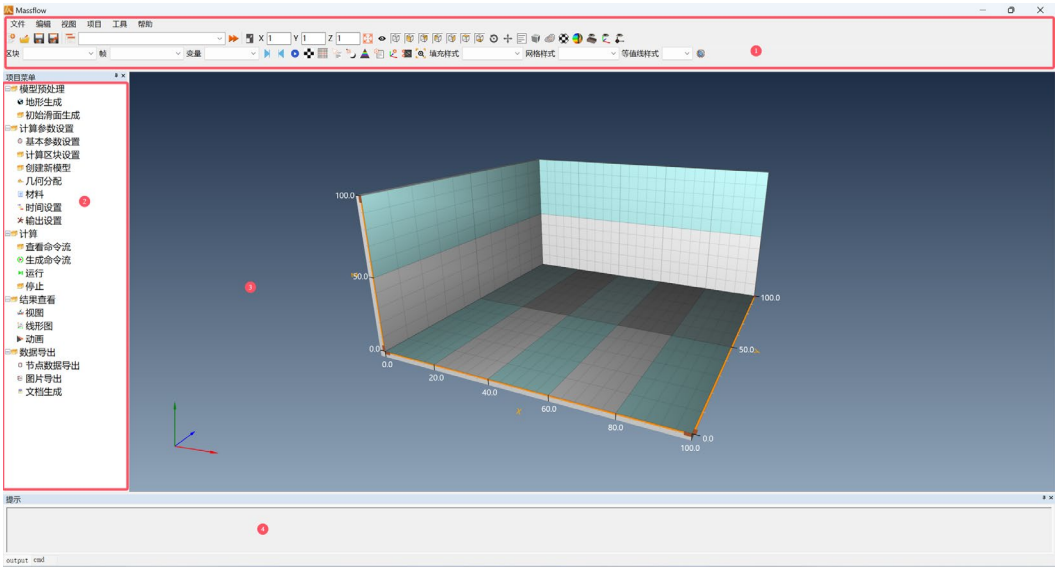


图 5-1 软件默认界面

5.2 创建模型

包括地形生成和初始滑面生成两个步骤。

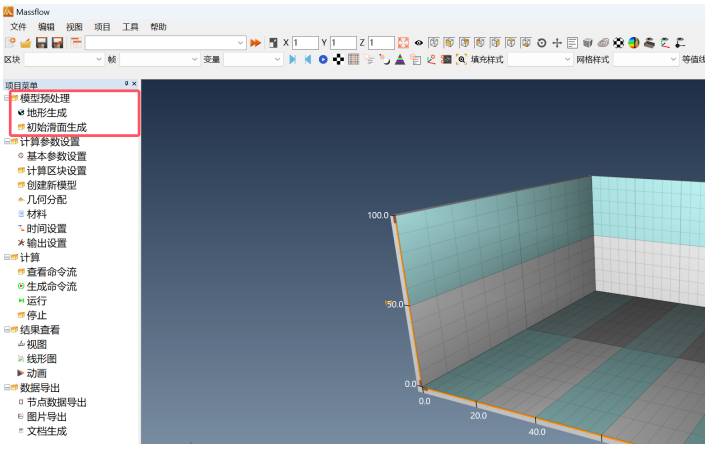


图 5-2 模型预处理

5.2.1 地形生成

从系统自带地形中导入地形：选择此模式，点击框选按钮，鼠标左键单击框选地形，右键结束框选，弹出窗口设置区块行或列的数量，软件将自动计算对应的列或行的数量并获取区块其余数据。

从倾斜影像中导入地形：此模式支持框选加载的倾斜影像或者 3DTiles 地形，加载地形后框选步骤同上。

倾斜影像：原始倾斜影像数据（osgb）转 3DTiles 并自动加载，转化后的数据在软件安装目录 \Bin\Cesium-App\html\model 下。

3DTiles：点击 3Dtiles，软件会自动加载安装目录 \Bin\Cesium-App\html\model 下的 tileset.json。并跳转到相应位置。

修改地形（其他）：将地形和影像地址修改为自己的地址，选择其他及查看。

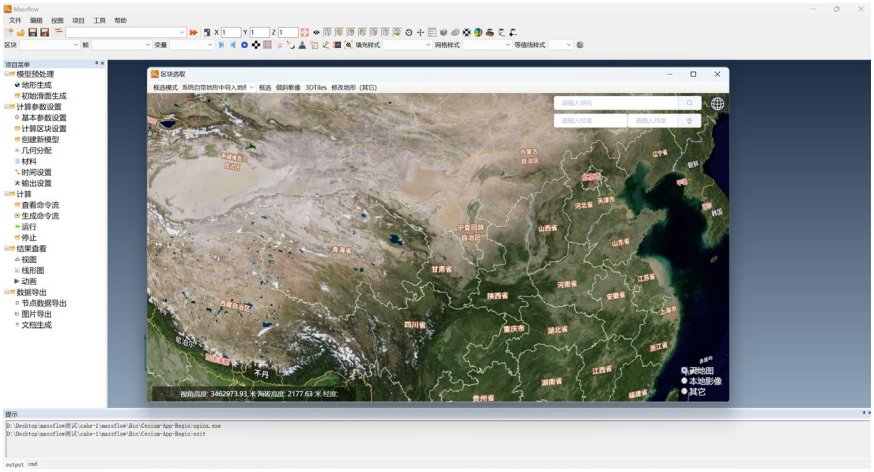


图 5-3 世界地形界面

5.2.2 初始滑面生成

初始滑面构建方法包括：

默认构建：按照程序内置经验公式计算滑坡潜在方量，并不断迭代 slbl 的公差得到逼近这一方量的滑面。

已知滑坡方量：跟据输入的滑坡方量，通过迭代 slbl 的公差得到逼近这一方量的滑面。

已知滑坡体深度：根据输入的滑坡体深度，直接生成相应深度的物源。

最不稳定滑面：根据输入的内聚力，内摩擦角，滑动方向，迭代计算出不同 slbl 公差下，稳定性最差的滑面。滑动方向角度以 x 轴正轴为起点，逆时针方向选择的角

度。

最拟合滑面：如通过钻孔等手段得到某些点位上滑面的高程，输入点位的大地坐标 x，y 和高程 z，迭代计算出不同 slbl 公差下，与已探明滑面的点位最拟合的滑面。

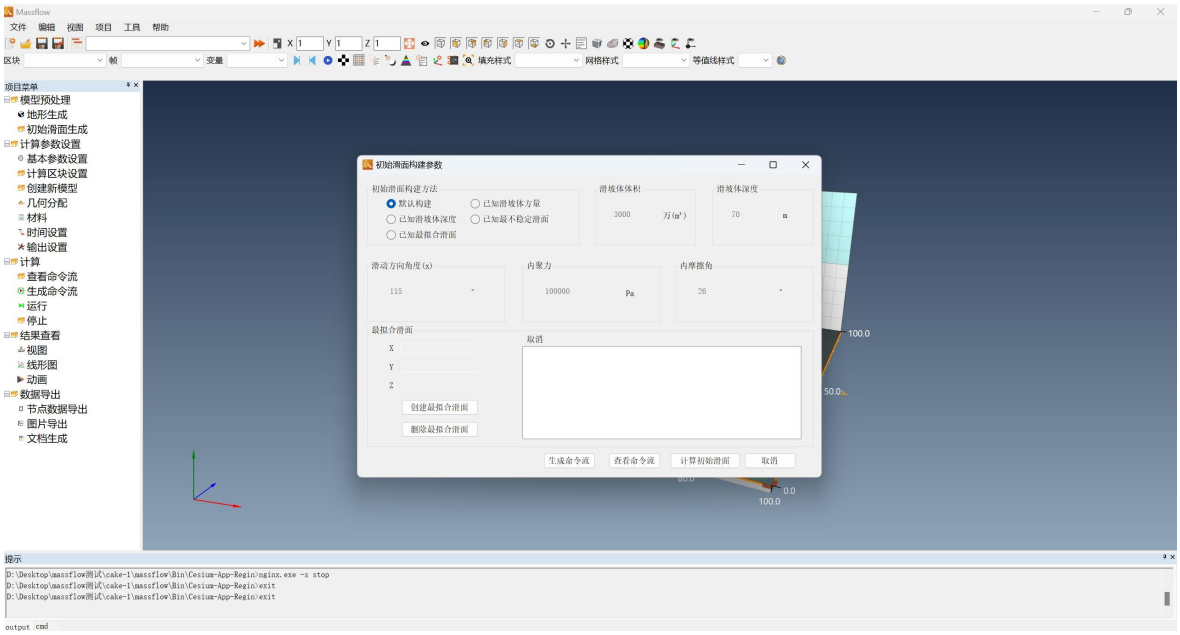


图 5-4 初始画面生成界面

5.3 计算参数设置

1.基本参数设置；

2.计算区块设置；

3.创建新模型；

4.几何分配；

5.材料；

6.时间设置；

7.输出设置

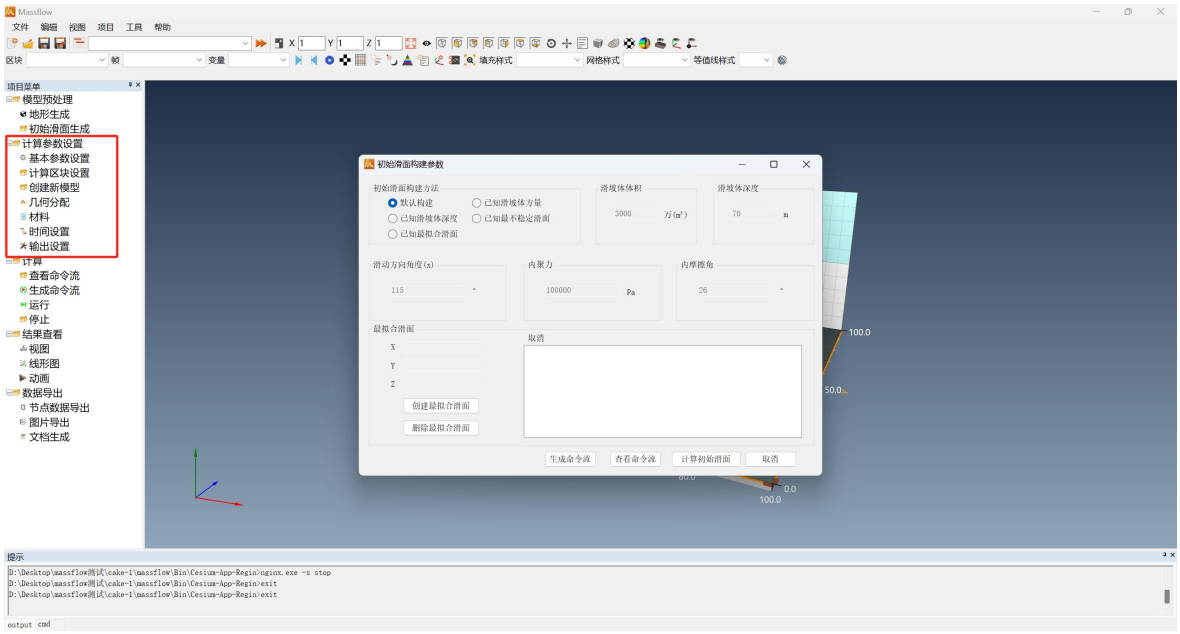


图5-5 计算参数设置界面

5.3.1 基本参数设置

设置前处理的部分基本参数（详见第四章 Massflow 命令流介绍）：

1. 计算区块个数；
2. 计算维度；
3. 初始流体高度；
4. 考虑基底侵蚀模型；
5. 考虑密度演化；
6. 考虑惯性力；
7. 网格重划分；
8. 分布式并行计算；
9. 共享内存并行计算（openMP）；
10. 通量限制器；
11. 分析类型；
12. 边界虚拟节点。

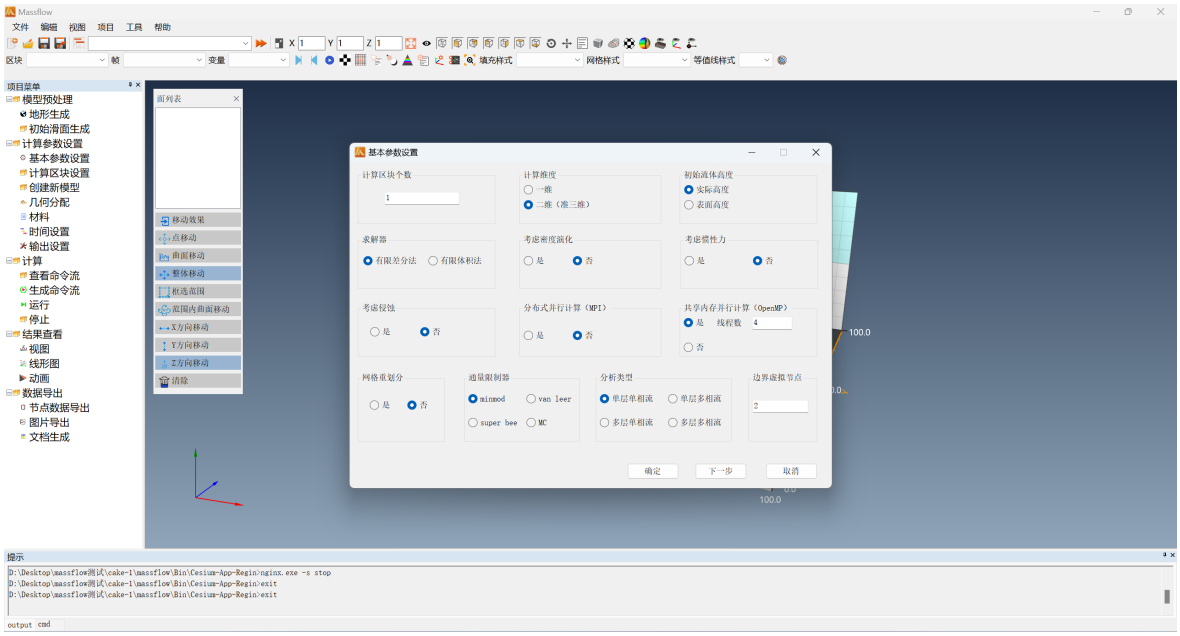


图 5-6 基本参数设置界面

5.3.2 计算区块设置

设置计算区块：注册版区块无限制，非注册版区块网格总数上限为 100000。

设置方式：

1. 通过基本参数设置的区块数目来设置各个计算区块的大小；
2. 可以通过命令流文件或者 DEM 文件直接填充区块各个属性；

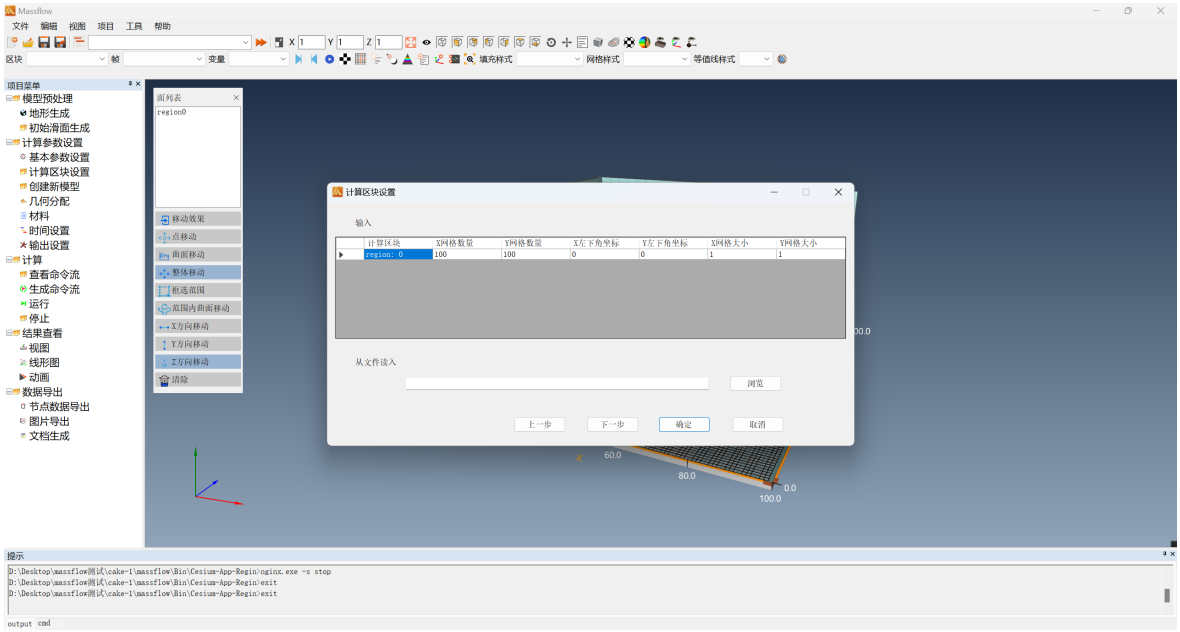


图 5-7 计算区块设置界面

5.3.3 创建新模型

创建点：

1. 可通过读取已有的 input 文件直接填充已有的参数；
2. 手动输入相关点的参数。

创建面：

1. 导入多边形：通过读取 input 或者 dem 文件加载地形；
2. 自动创建矩形：设置行列值、起始网格坐标，自动创建矩形；
3. 手动创建多边形：在左侧点列表中选择至少 3 个点，创建多边形；
4. 添加：输入点列表中 4 个点的序号分别作为矩形的 4 个角创建矩形；
5. 创建曲面：在窗口中单击创建 n 个点，以对应截面为点，依次连接组成地形。

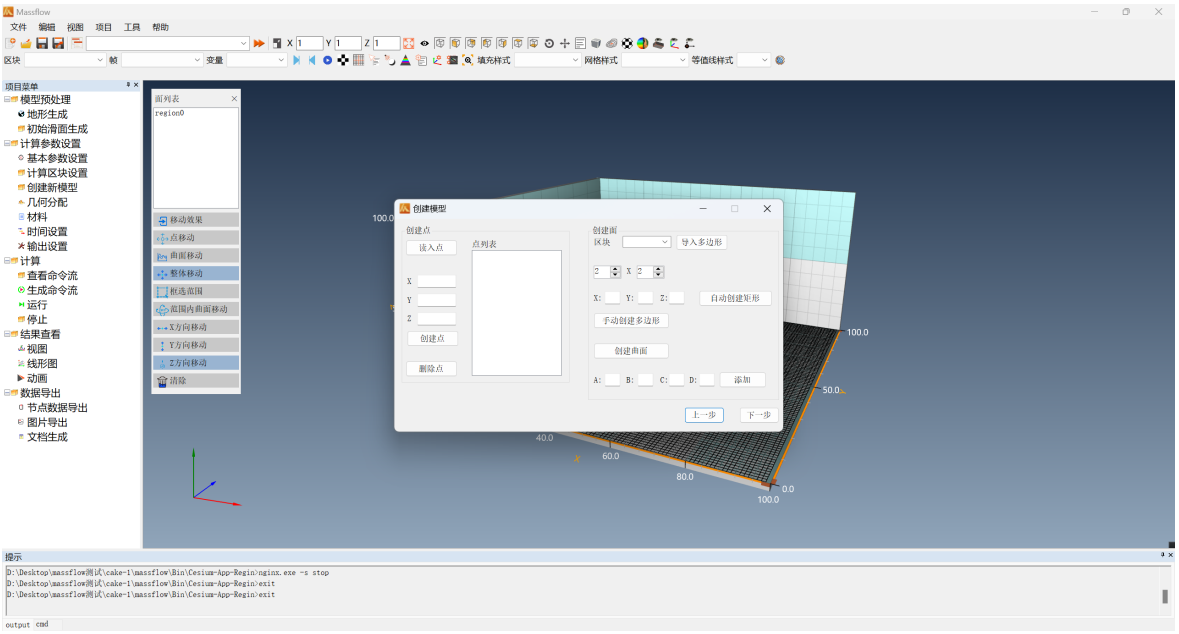


图 5-8 创建模型界面

模型操作：

1. 工具栏：会显示当前所有的区块和以创建的面；
2. 已创建的面，可以依据相关命令进行操作。

操作示例：

1. 选择需要操作的面或者点；
2. 点选需要的对这个面进行操作；
3. 鼠标放置在面中的相关点上，然后可以进行相关的拖动效果，当前为整体 Z 方向平移；
4. 选择曲面移动；

5. 选择单点移动效果；

6. 依据框选的范围进行曲面操作。

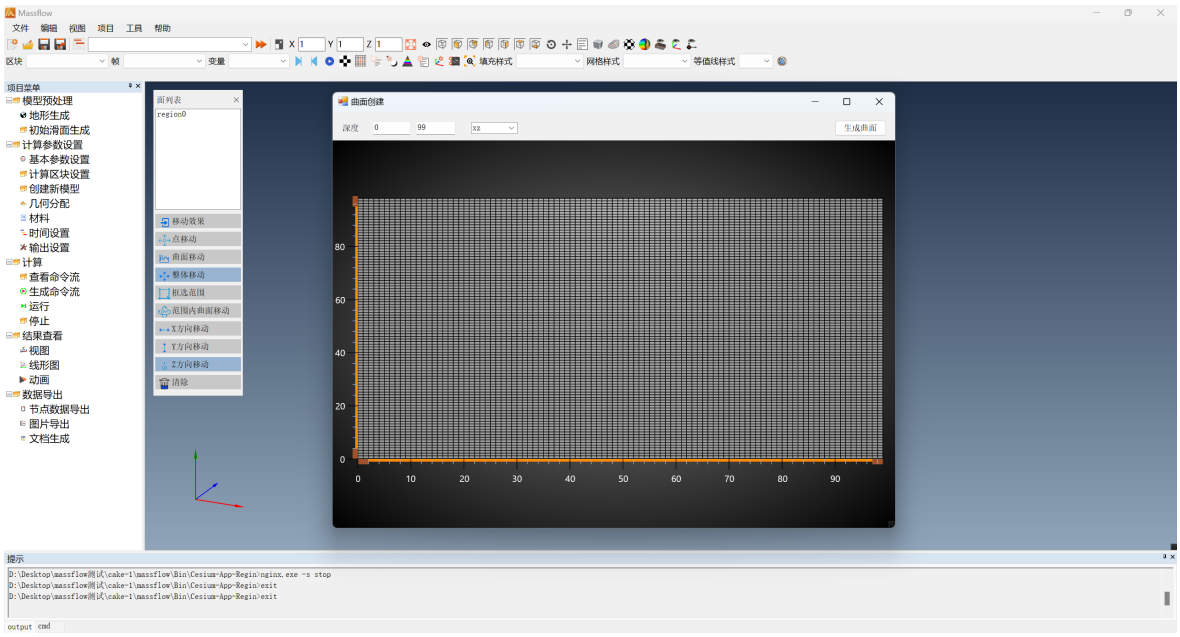


图 5-9 曲面创建界面

5.3.4 几何分配

将创建的地形分配给各个区块。

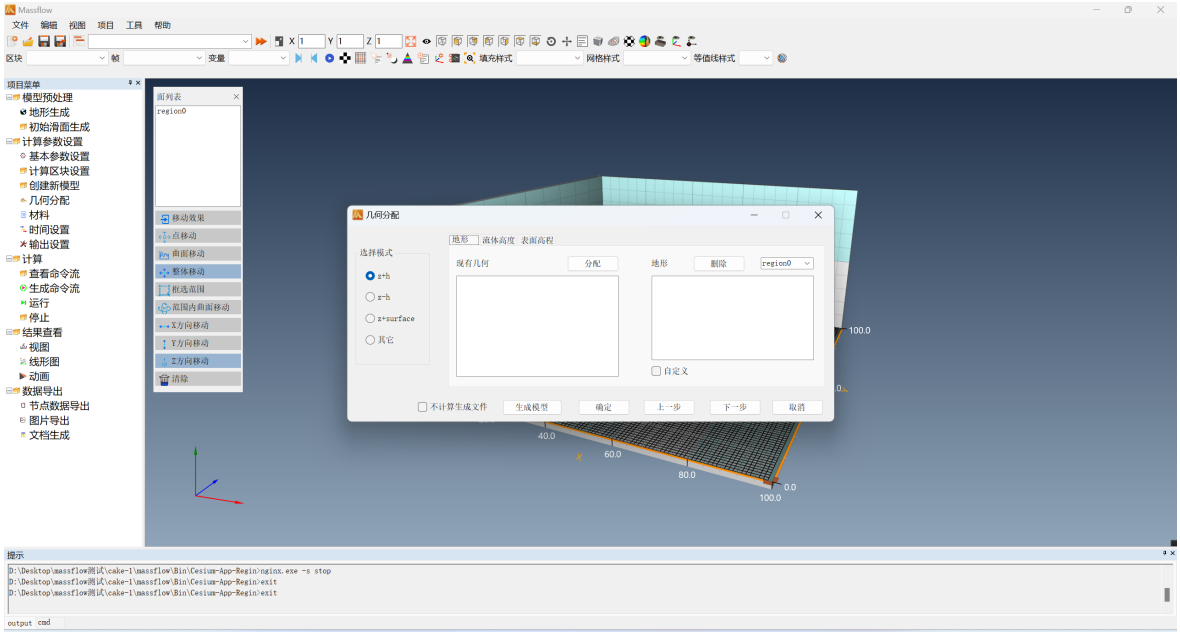


图 5-10 几何分配界面

5.3.5 材料

材料定义/编辑

选中材料 1default，点击编辑弹出材料定义界面，完成后，再选中材料 1，点击应用。

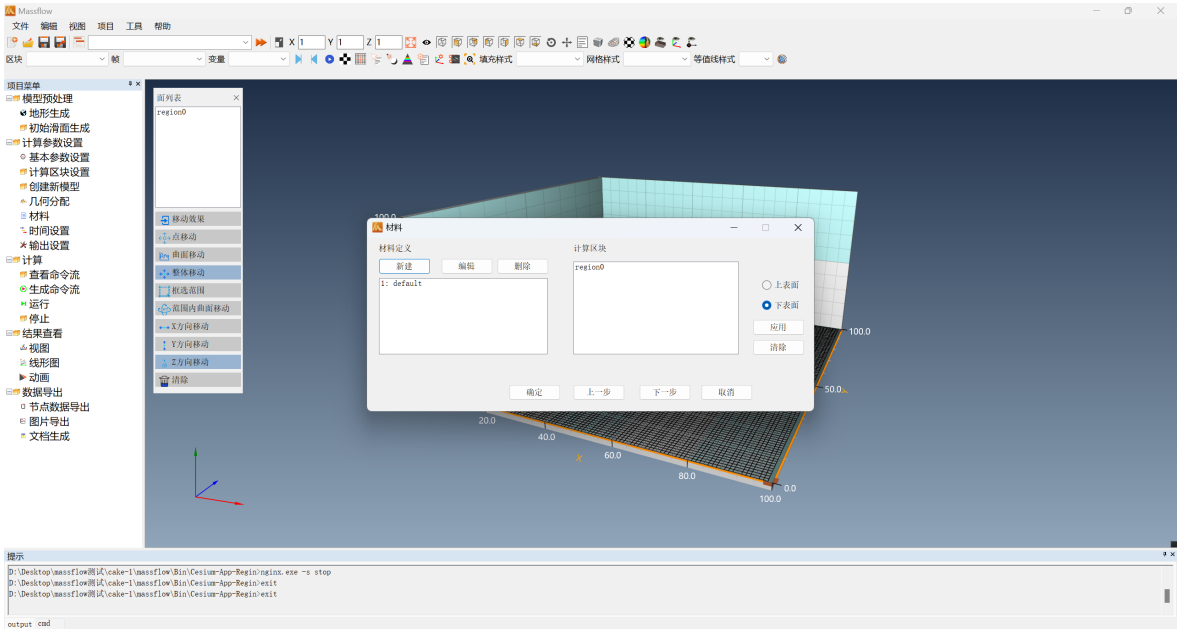


图 5-11 材料定义界面

材料参数栏

主要输入基本的材料参数，包括密度、基底摩擦模型参数、土压力相关参数。

基底侵蚀模型参数栏

在 5.3.1 基本参数设置中选择考虑侵蚀可启动该部分内容，模型一为经验侵蚀模型$\frac{\partial z_b}{\partial t} = E_M h\sqrt{u^2+v^2}$，经验参数$E_M$可根据公式$E_M = \ln(V_f/V_0)/S$确定（McDougall and Hungr, 2005）。模型二计算公式为$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{\tau_{1b}-\tau_{2s}}{\rho\sqrt{u^2+v^2}}$，$\tau_{1b}$是流动层的基底牵引力，$\tau_{2s}$是基底材料的抗剪力，通过库伦公式（Coulomb）$\tau_{2s} = c + \rho g_z h(1-\lambda_2)\tan(\phi_2)$计算。可侵蚀层厚度定义了基底材料的可被侵蚀部分的最大厚度。

密度演化参数栏

在 5.3.1 基本参数设置中选择密度演化可启动该部分内容，用于泥石流固液两相模型，初始物质浓度描述了初始状态下固体物质占比。

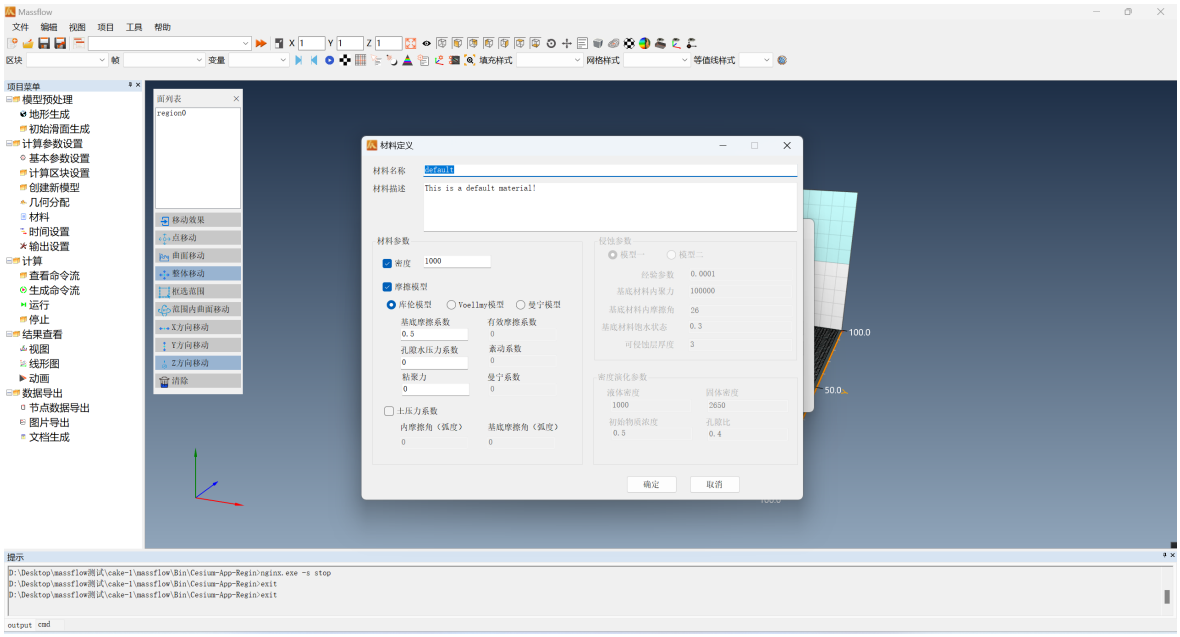


图 5-12 材料参数设置界面

5.3.6 时间设置

设置前处理的总时长以及步长。

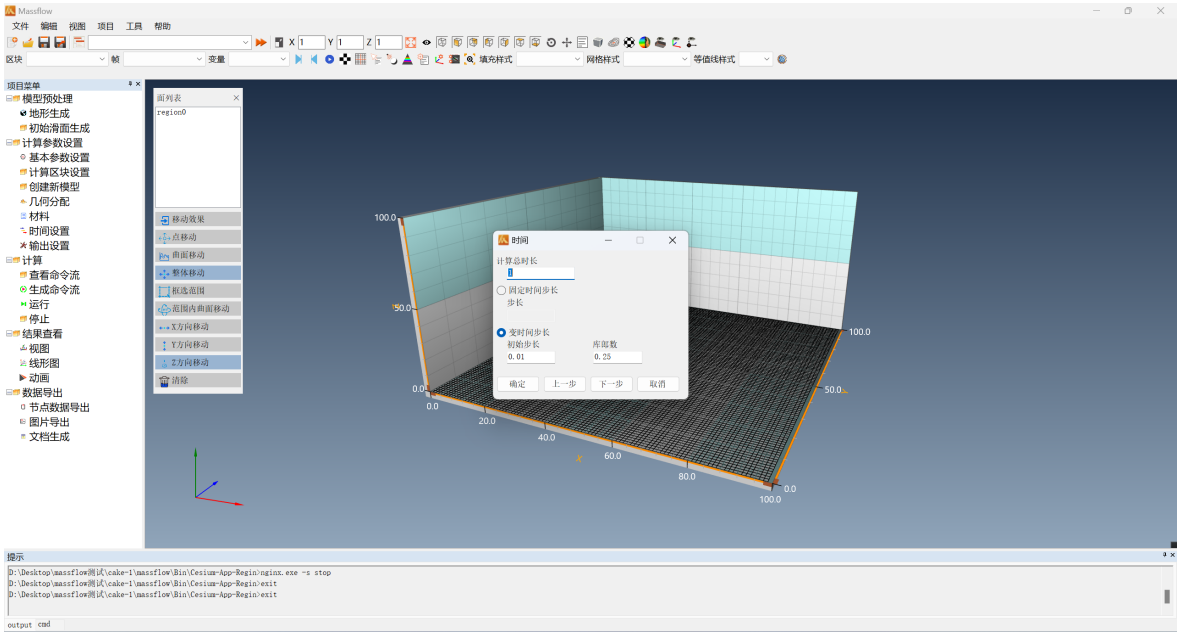


图 5-13 设置前处理的总时长界面

5.3.7 输出设置

输出设置可支持 Tecplot 和 DEM 两大类，包含多个参数变量的输出。

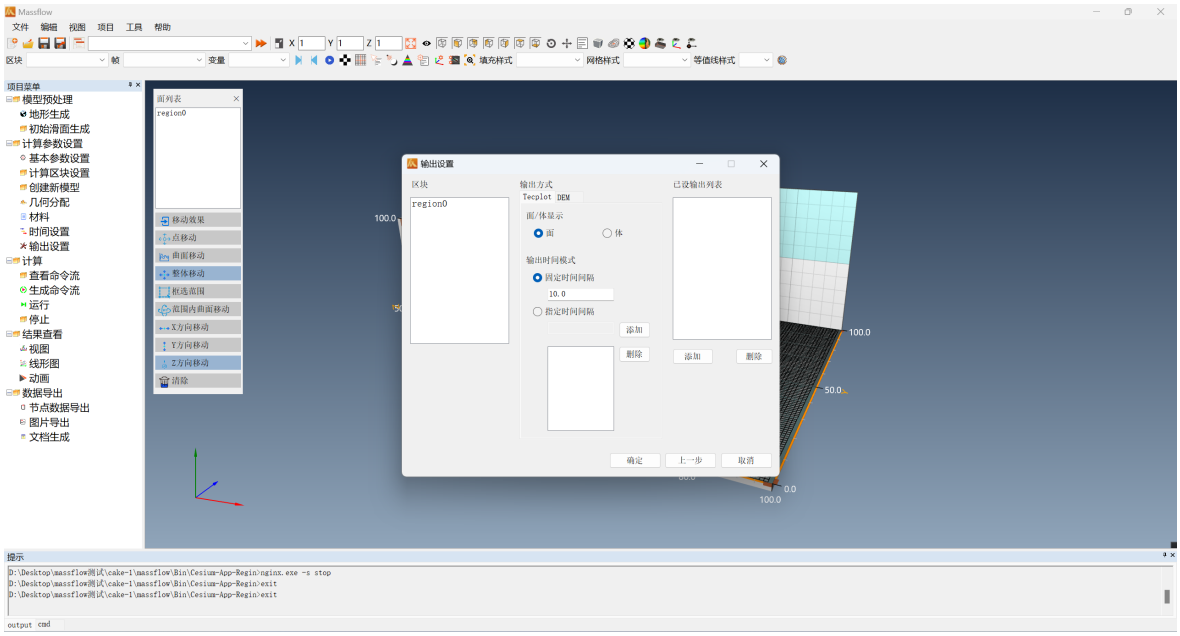


图 5-14 设置输出方式

5.4 计算

包含查看命令流、生成命令流、运行、停止等功能。

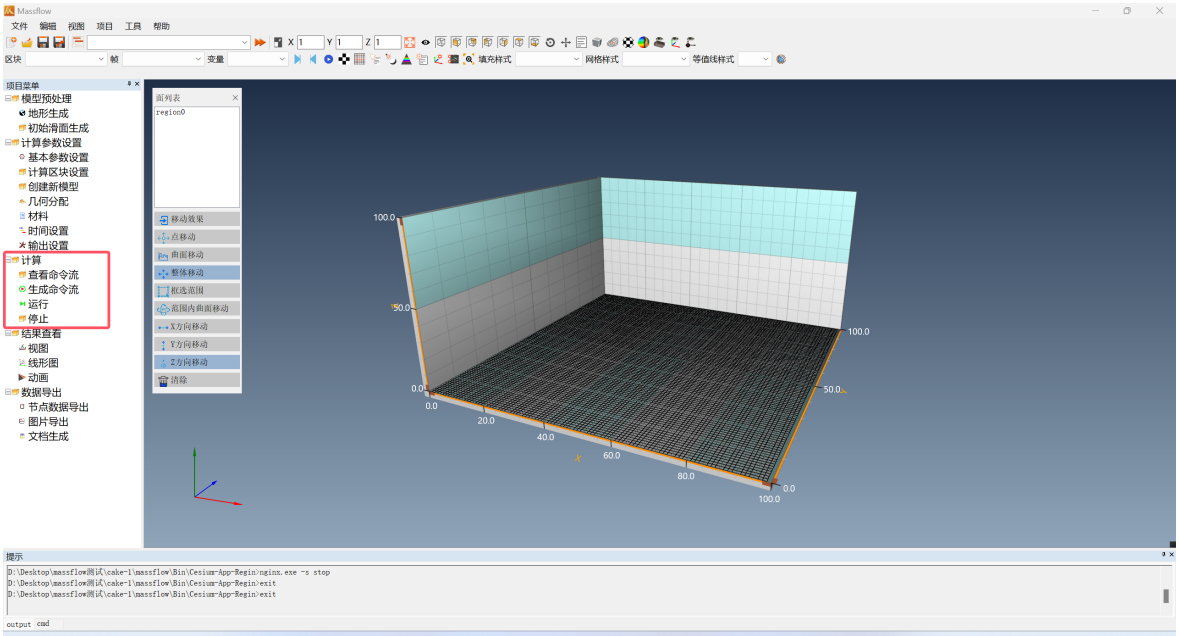


图 5-15 选择计算区块

5.4.1 查看命令流

查看当前项目前处理的命令流。

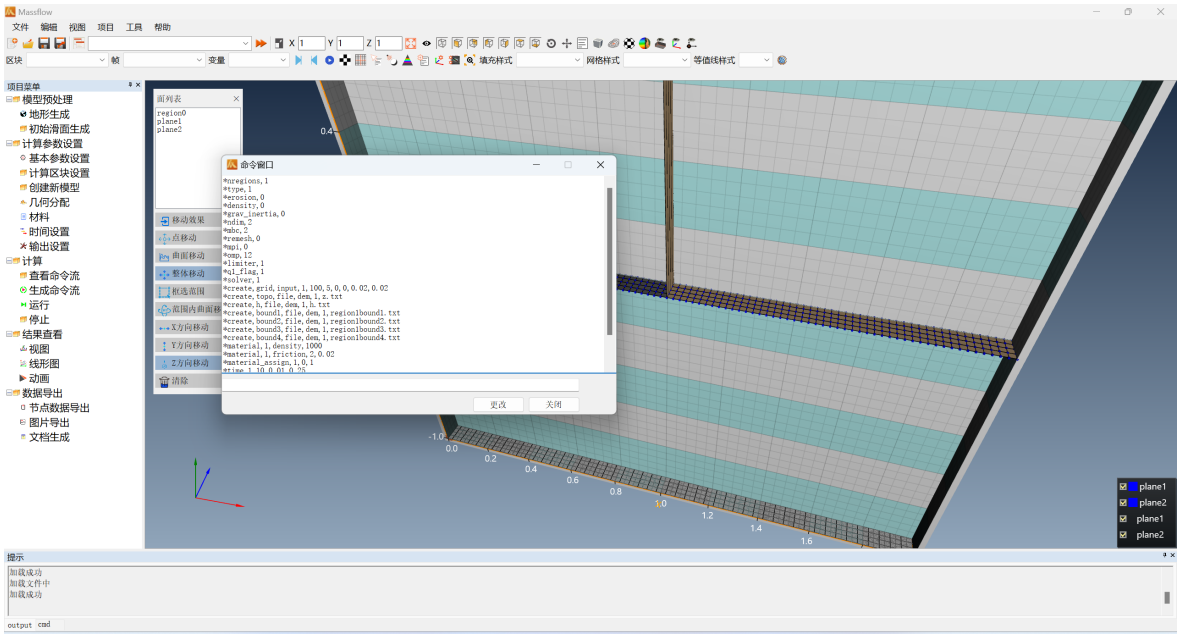


图 5-16 查看命令窗口的界面

5.4.2 生成命令流

生成当前项目前处理的命令流。

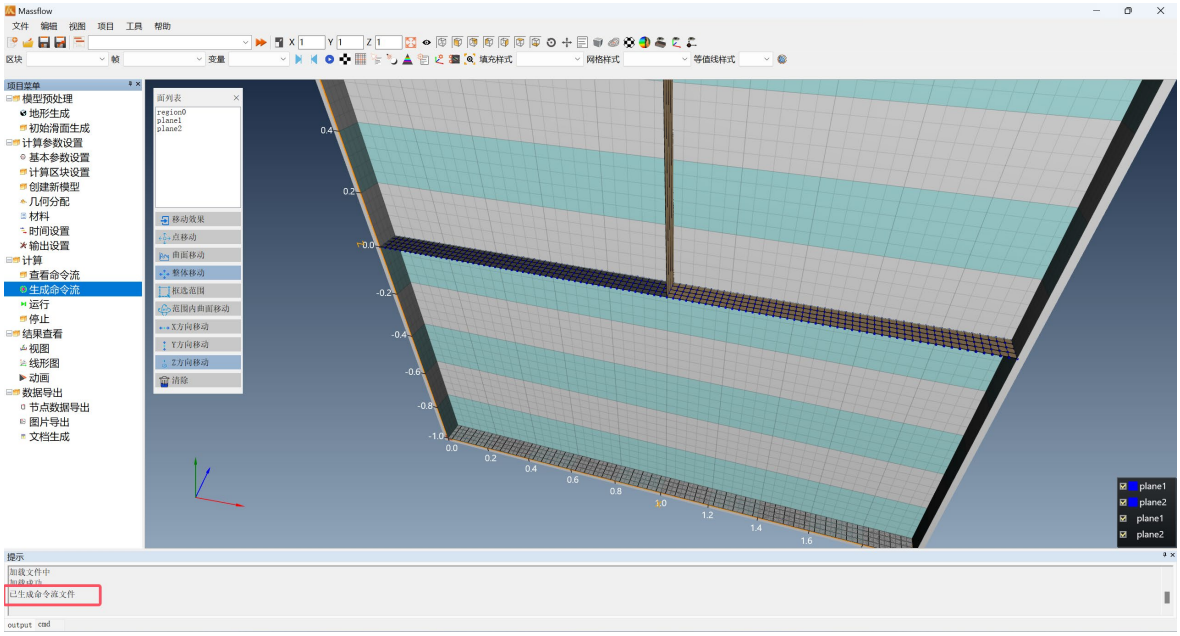


图 5-17 生成命令流时的界面

5.4.3 运行

根据当前的命令流文件运行计算程序，生成 plt 文件，并自动导入。

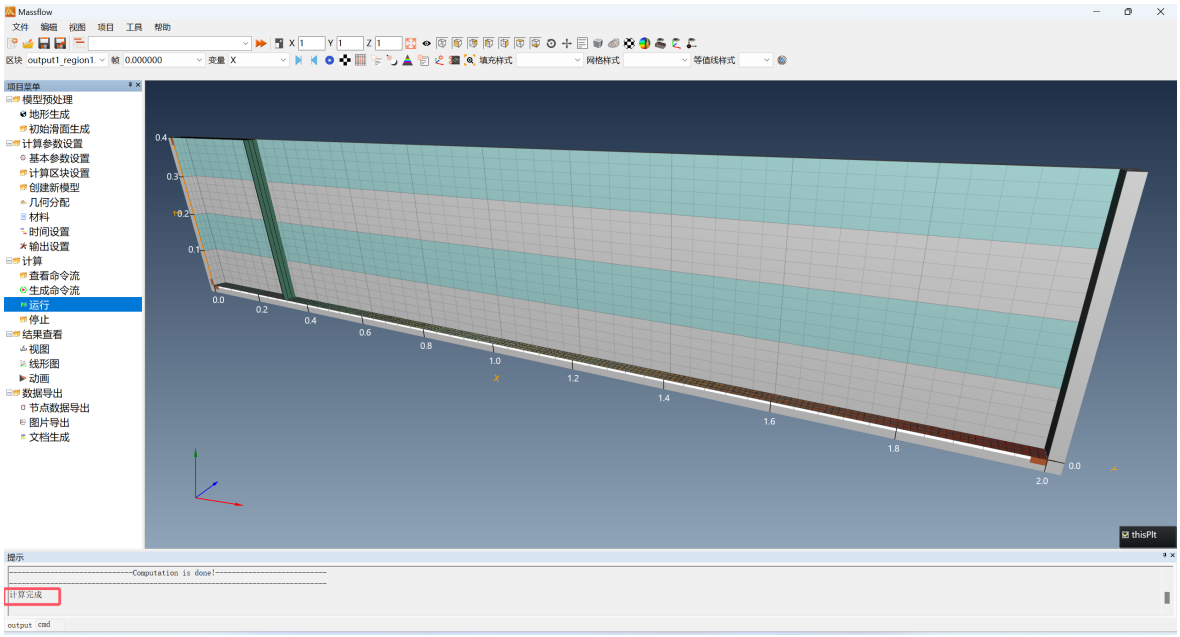


图 5-18 运行完成后界面

5.4.4 停止

停止当前正在计算的程序。

5.5 结果查看

查看结果

1.视图；

2.线形图；

3.动画；

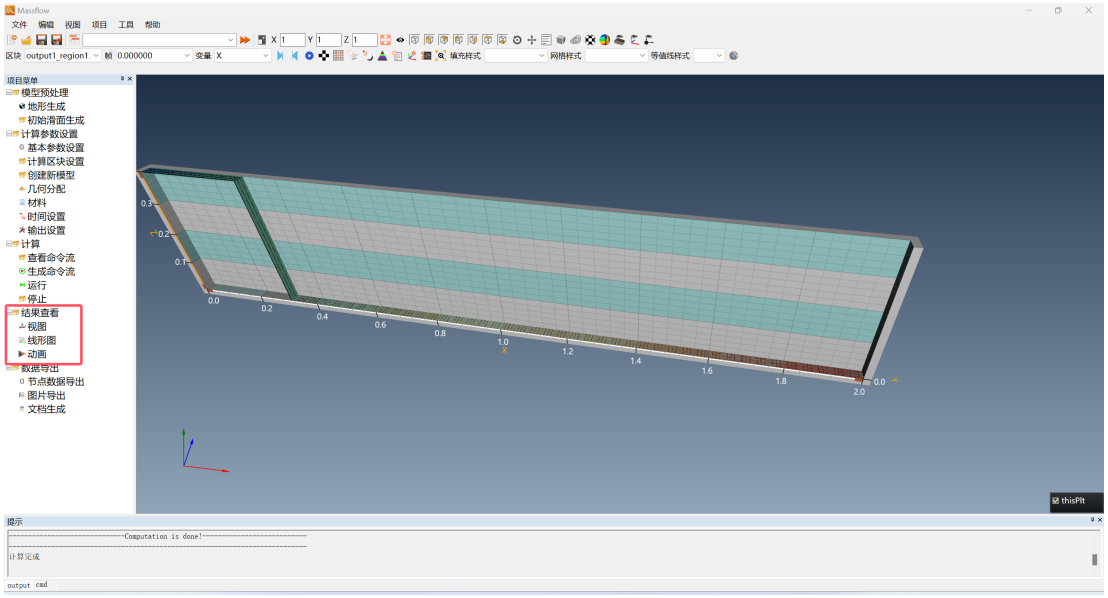


图 5-19 选择结果查看

5.5.1 视图

1. 查看模型的坐标、高程值，对模型进行标注；
2. 对模型的填充样式、线条样式、轮廓线样式、色彩饱和度、高度误差显示进行设置；
3. 正交投影；
4. 等高线及其颜色相应设置；
5. 加载贴图并生成贴图模型；
6. 模型的水平翻转、垂直翻转。

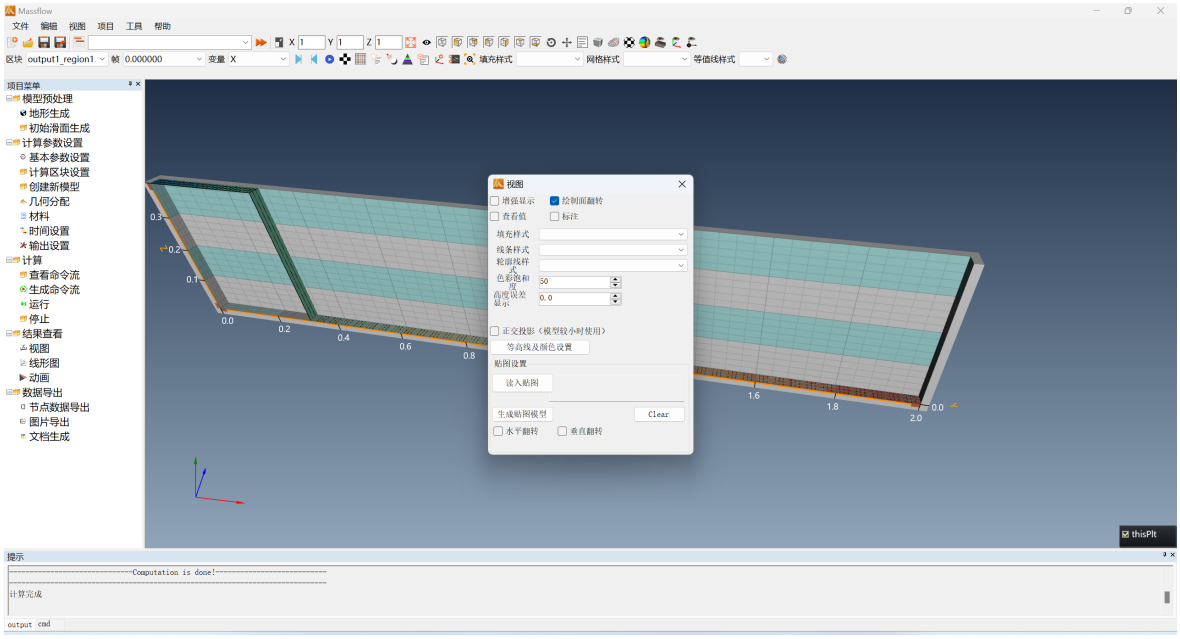


图 5-20 点击视图，选择效果

5.5.2 线形图

对已加载模型的单、多个网格点的不同分量随时间变化的 2D/3D 折线图。

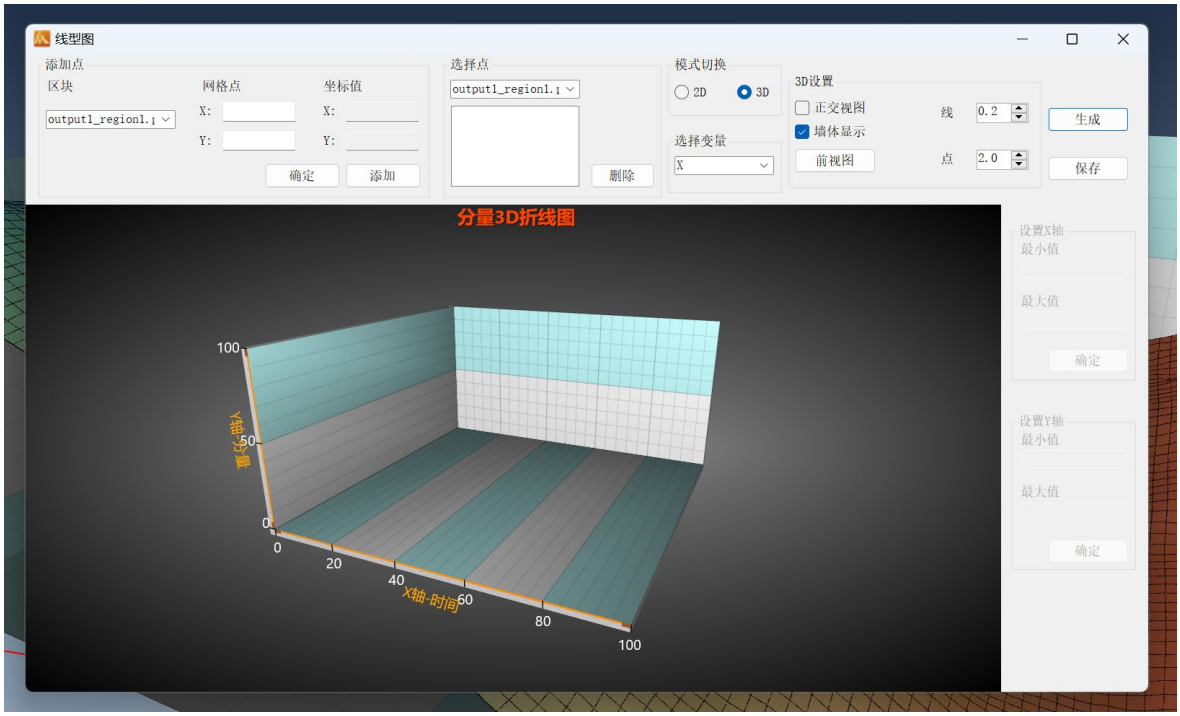


图 5-21 线形图界面

5.5.3 动画

查看模型不同时间段的动画。

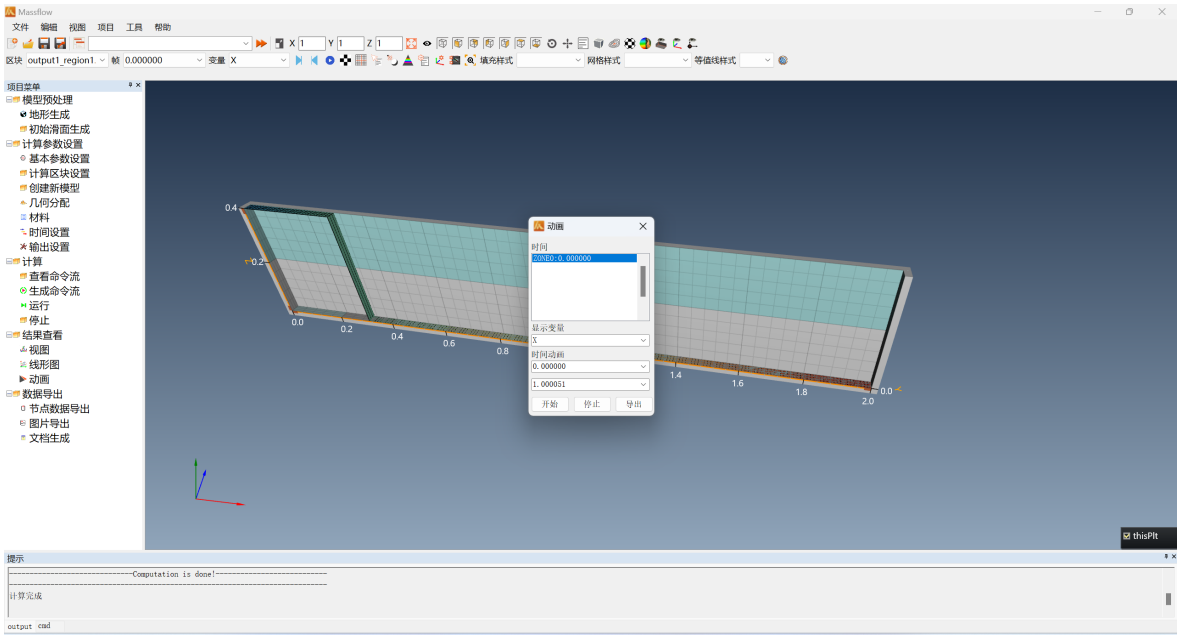


图 5-22 动画界面选项

5.6 数据导出

数据导出类型包括：

1.节点数据导出

2.图片导出

3.文档导出

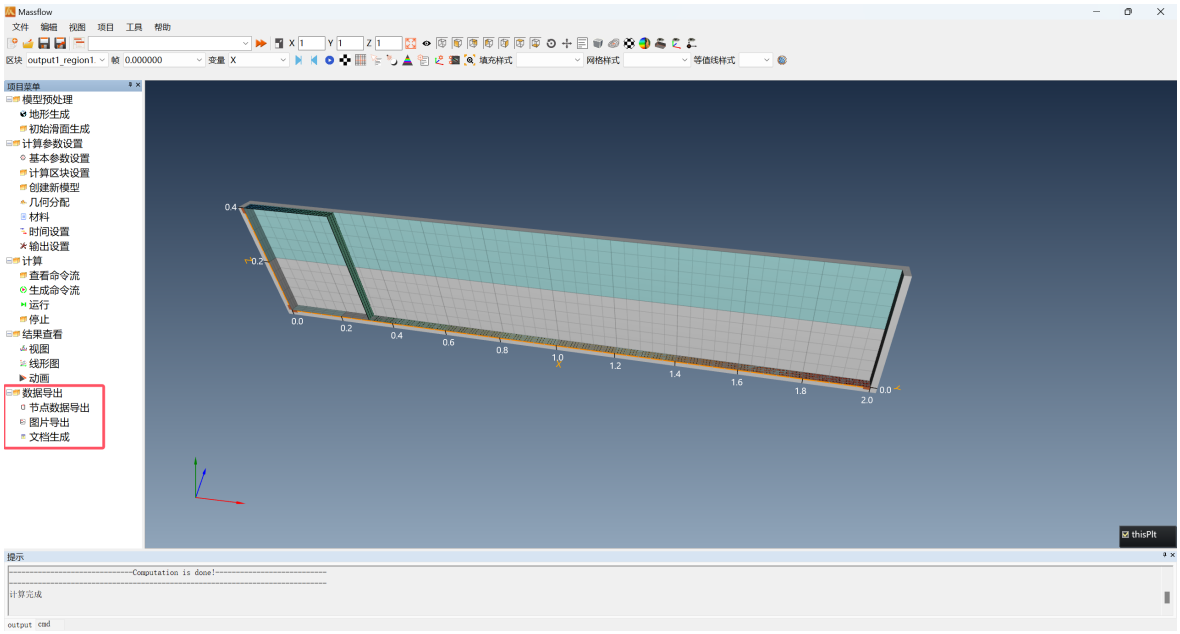


图 5-23 数据导出界面

5.6.1 节点数据导出

导出模型中点的变量的值。

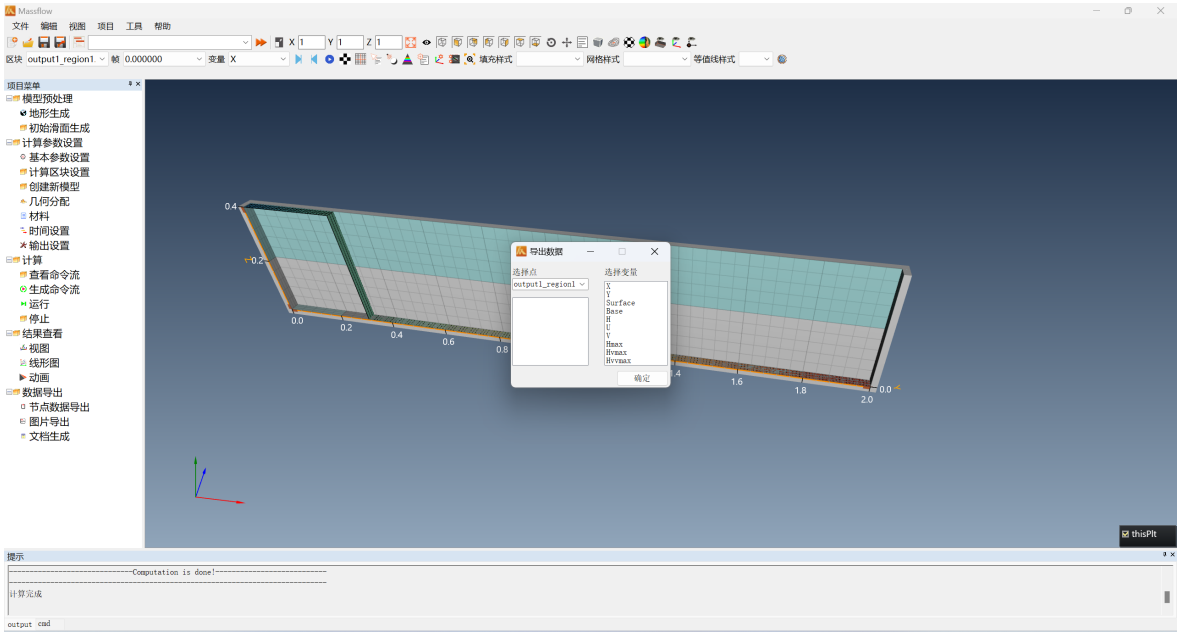


图 5-24 导出数据

5.6.2 图片导出

导出当前模型展示窗口（屏幕截图形式）。

5.6.3 文档生成

自动生成模型的 word 文档。

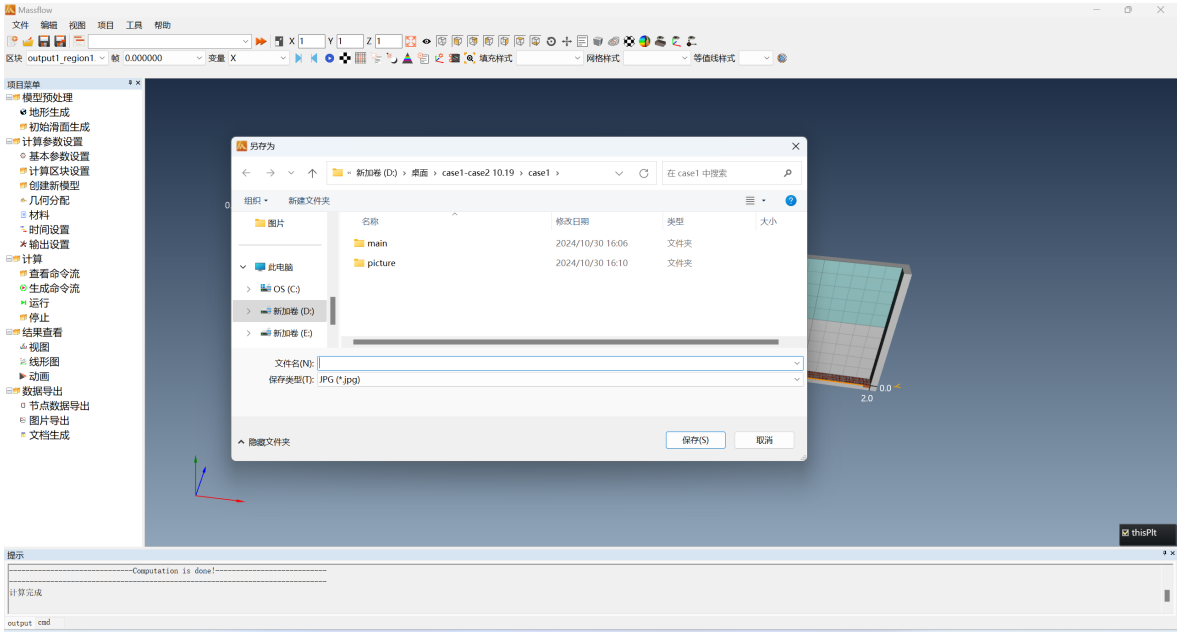


图 5-25 保存文件位置

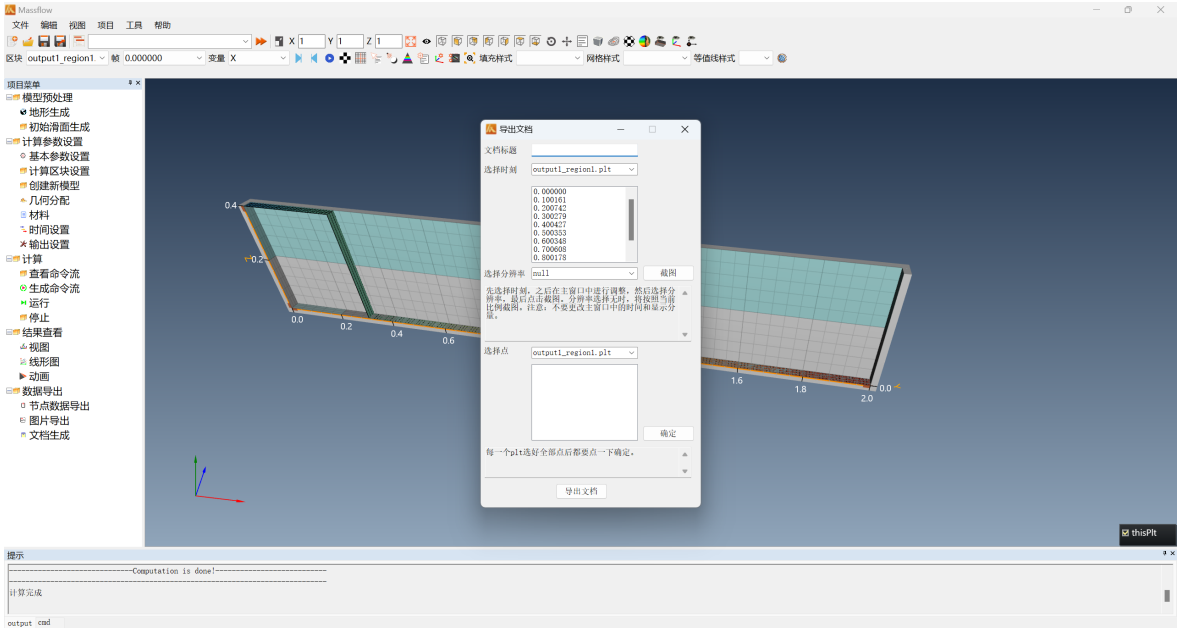


图 5-26 导出文档界面

5.6 世界地形

通过工具栏中的世界地形按钮来进入。

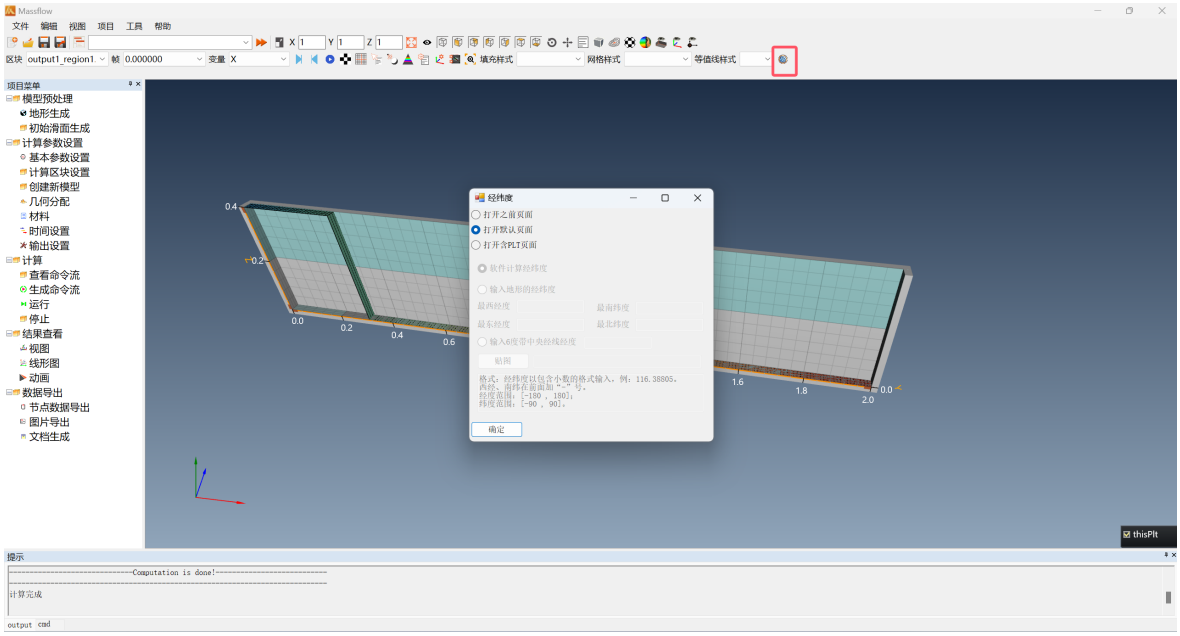


图 5-27 世界地形按钮界面

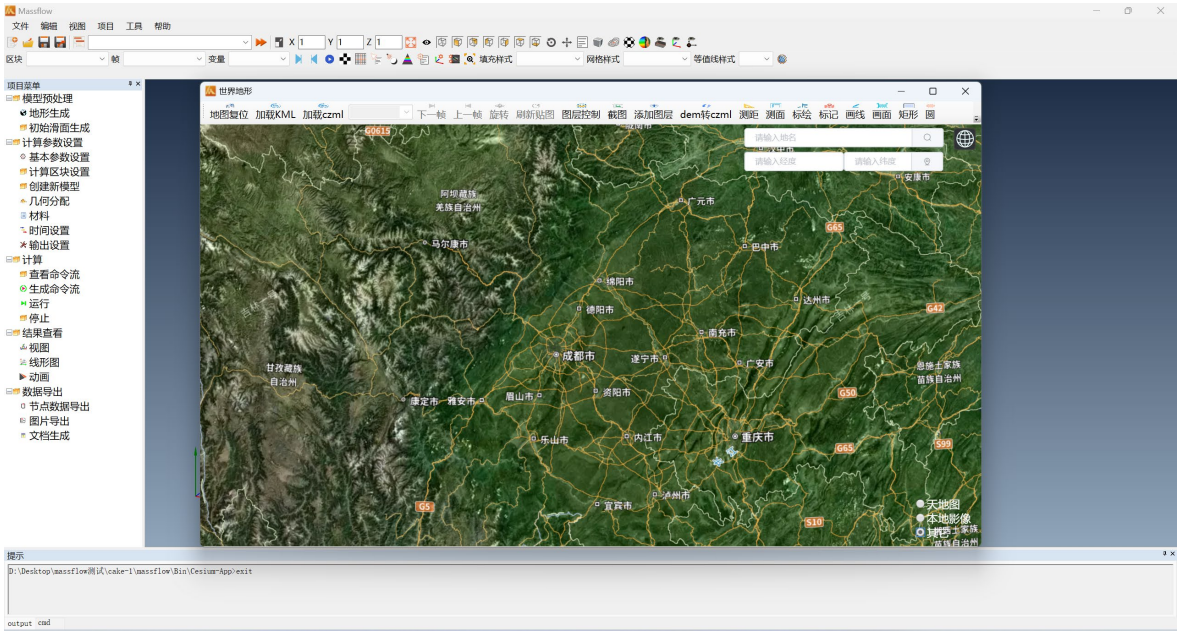


图 5-28 世界地形打开界面

世界地形的基本工具栏：

1. 地图复位：复位至以中国为中心的地球正上空；
2. 加载 KML：加载.kml .kmz 文件；
3. 加载 czml：加载 czml 文件；
4. 选择 plt 帧：当打开含有 plt 的世界地形时启用：

（1）选择具体的时间点时，plt 将调整至所选时刻的形态；

（2）选择 all 时，plt 将循环进行动画变化。

5. 旋转：当打开含有 plt 的世界地形时启用，每点击一次，plt 模型旋转 π/4；

6. 刷新贴图：当打开含有贴图的 plt 的世界地形时启用，刷新贴图；

7. 图层控制：控制已有图层的显隐以及图层顺序；

8. 添加图层：输入对应的图层的各项参数，点击确定，添加图层；

9. 删除图层：选中图层，点击删除按钮删除图层；

10. 截图：点击按钮，旋转路径，生成当前窗口的截图；

11. dem 转 czml：先选择 dem 文件，之后选择转换后的 czml 保存路径，点击确定，进行转换；

12. 测距：单击测距按钮开始测距，单击选择测距点，左键选择终点，右键结束测距，显示距离；

13. 测面：单击测面开始测量面积，点击选择面的角，左键选择最后的一个角，右键结束测面，显示所组成的面的面积；

14. 标绘：显示已经创建的标绘信息，单击保存按钮保存标绘，选中某个标绘，单击删除，删除对应的标绘；

15. 标记：单击标记按钮，选择地球上某一点单击，在弹出的标记信息窗口中查看此点的经纬度信息，添加名称以及描述，点击确定，创建标记；

16. 画线：单击画线按钮，左键选择线段两端的点，右键选择终点并结束画线，弹出标绘信息窗口，添加名称以及描述，单击确定按钮，完成画线；

17. 画面：单击画面按钮，左键选择面的各个顶点，右键选择终点并弹出标绘信息窗口，添加名称以及描述，单击确定按钮，完成画面；

18. 矩形：单击矩形按钮，左键选择矩形的两个顶点，右键结束并弹出标绘信息窗口，添加名称以及描述，单击确定按钮，完成矩形；

19. 圆：单击圆按钮，左键第一次单击选择圆心，第二次单击确定圆的范围，右键结束并弹出标绘信息窗口，添加名称以及描述，单击确定按钮，完成画圆；

20. 等高线：单击等高线按钮，弹出间距调整条，调整距离（0-500），调节等高线；

21. 清空：清空全部的测距、测面、标绘生成的图形；

22. 搜索位置：输入地名，点击搜索，成功后会自动调整至所搜索的位置。

5.7 工具栏功能

5.7.1 菜单栏 1

1.文件：

（1） 新建：新建工程；

（2） 打开：打开工程（mf 文件）；

（3） 保存：保存到当前工程；

（4） 另存为：另存为其它工程；

（5） 运行命令流：加载命令流数据（input.txt 文件）并直接运行计算，详情见前处理和计算部分；

（6） 导入：导入 CAD 文件、dem 文件、plt 文件；

（7） 加载命令流：加载命令流数据（input.txt 文件）；

（8） 导出：导出数据、图片、文档，详情见上数据导出部分；

（9） 打印图片：打印模型窗口图像；

（10） 操作记录：显示最近的操作记录；

（11） 最近：显示最近打开的工程；

（12） 退出：退出 Massflow。

2.编辑：

（1） 撤销：撤销操作（未实现）；

（2） 返回：恢复撤销的操作（未实现）；

（3） 插入：插入文字、图像（同标注）；

（4） 清除数据：初始化前处理数据；

（5） 清除模型：清除模型窗口已经加载的模型；

（6） 背景：调整模型窗口的背景颜色（纯色、渐变）。

3.视图：

（1） 自适应：模型自适应窗口；

（2） 项目窗口：打开项目菜单；

（3） 提示窗口：打开提示窗口；

（4） 视图选项：打开视图窗口；

（5） 光照选项：打开光照窗口；

（6） 背景：调整模型窗口的背景颜色（纯色、渐变）。

4.项目：

基本参数设置、计算区块设置、创建新模型、几何分配、材料赋值、分析步、输出设置、当前命令流、生成命令流文件、运行建模、视图、线形图、动画、导出数据、导出图片、导出文档（需要修改，跟项目菜单统一），详情见上方模型生成、结果查看、数据导出部分。

5.工具：

语言：切换中英文。

6. 帮助：

（1） 帮助手册：打开软件帮助手册（无）；

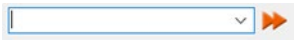
（2） 发送反馈：显示联系方式（无）；

（3） 版本信息：显示版本信息。

5.7.2 工具栏 1

（1） 新建、打开、保存、另存为；

（2） 打开命令窗口，查看当前前处理命令、修改命令；

（3）  输入命令，点击右侧运行按钮运行；

（4）

输入比例，点击左侧按钮缩放；

（5） 模型自适应窗口；

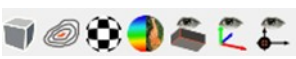
（6） 恢复模型：恢复模型的初始状态；

（7） 正视图、前、后、左、右、顶、底视图；

（8） 选中后，在模型上按住左键可以旋转模型；

（9） 选中后，在模型上按住左键拖动模型；

（10） 标注管理：添加文字、图片标注，删除标注，关闭标注；

（11）  网格、等高线、颜色、贴图、墙体、坐标标识、坐标轴显隐。

5.7.3 工具栏 2

（1）

选择模型窗口显示的模型，‘ALL’表示全部显示（如果几个模型相距过远，可能导致模型显示非常小）；

（2）

选择时刻，模型会变为对应时刻的状态；

（3）

选择分量，模型会根据对应分量进行渲染；

（4）
动画：模型会从最初时刻进行变化，直至最终时刻；

（5）
插入贴图：选择贴图文件，贴合到对应模型；

（6）
正交投影：在正交投影与正常视图之间切换；

（7）
查看值：显示鼠标所处模型点的网格值、xy 坐标值、左侧所选变量的值；

（8）
材质和光照：设置材质参数、光照参数；

（9）
等高线/颜色：设置等高线的最大最小值、均分段数、实线虚线，模型的颜色渲染色带；

（10）
标注管理：标注管理：添加文字、图片标注，删除标注，关闭标注；

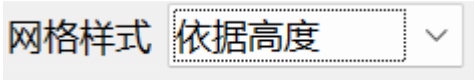
（11）
坐标轴设置：设置 X、Y、Z 轴各种的主轴显示位置、长度、范围以及修改轴名称；

（12）
背景设置：调整模型窗口的背景颜色（纯色、渐变）；

（13）
缩放：点击按钮，会出现一个滑动条，滑动会实时改变模型显示的大小，默认值为 10，最大调整至 500，最小是 1；

（14）

设置填充样式；

（15） 

设置网格样式；

（16）

设置等值线样式；

（17）
世界地形：

①之前页面：由上一次打开的页面确定；

②默认页面：最初始的页面，没有任何附加的模型数据；

③含 plt 页面：选择对应的经纬度模式，选择贴图（可以为空）。打开的世界地形窗口详情见前面世界地形部分。

第6章 Massflow 命令流介绍

Massflow 提供类似于 Ansys，PFC 等软件的命令流运行方式，用户可以直接修改 input.txt 文件中的参数设置，直接完成模型的建模，开展高效和便捷计算，也有利于二次开发和耦合计算。

命令流解释

*nregions

设置计算区块，其后所有的属性设置均为当前计算区块的属性，一般计算区块设置为一个，若为多层流或者泥石流固液两相模型，计算区域内需要分别设置每一层或者每一相的计算区块。如：

*nregions,1 !第一个计算区块，其后设置第一个计算区块的属性

*type,1

*erosion,0

……

*nregions,2 !第二个计算区块，其后设置第二个计算区块的属性

*type,1

*erosion,0

……

*nregions,3 !第三个计算区块，其后设置第二个计算区块的属性

*type,1

*erosion,0

……

*type

设置计算类型

***type, compute _type**

compute _type：定义计算区域类型

1：单层单相流

2：单层多相流

3：多层单相流

4：多层多相流

命令参考实例

*type, 1

指单层单相流

*erosion

设定计算过程中是否考虑基底、河流侵蚀模型

* erosion, erosion_flag

erosion_flag：是否考虑基底侵蚀，其值有：

0：不考虑基底侵蚀，

1：考虑基底侵蚀。如果变量设置为 1，需要提供基底侵蚀率计算公式和参数。

命令参考实例

** erosion, 0*

不考虑基底侵蚀。

*density

设定计算过程中是否考虑密度演化。

*density, variable_flag

variable_flag：考虑密度是否演化，其值有：

0：运动体密度为常数，（默认设置）

1：运动体密度随时间不断演化。如果变量设置为 1，需要定义其他相关参数。

命令参考实例

density, 0

*grav_inertia

设置计算过程中是否考虑惯性力对重力加速度的影响：

*grav_inertia, variable_flag

variable_flag：是否考虑惯性力对重力加速度的影响，其值有：

0：不考虑虑惯性力对重力加速度的影响

1：考虑虑惯性力对重力加速度的影响

命令参考实例

*grav_inertia，0

不考虑虑惯性力对重力加速度的影响

*ndim

设置计算维度

*ndim, dim_num dim_num

计算维度

1：一维模型

2：二维模型（准三维模型）默认选项

命令参考实例

*ndim,2

表示计算维度为二维，即向 X,Y 两个方向进行差分运算

*ndim,1

表示计算维度为一维，即只向 X 方向进行差分运算，相应的 Y 方向上的设置没有意义。

*mbc

设置边界 ghost 节点个数

*mbc, node_num

node_num：虚拟节点个数（默认虚拟节点为 2）

命令参考实例

*mbc, 3

设置三个虚拟节点，示意图如下

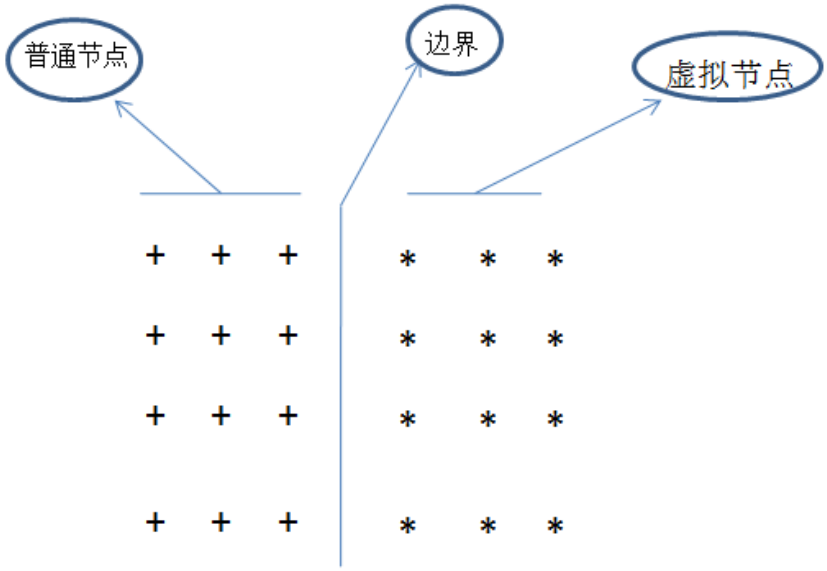


图6-1 边界与虚拟节点

*remesh

网格重划分命令

*remesh, remesh_flag

remesh_flag

是否网格重划分

0：不重新划分网格

1：重新划分网格

命令参考实例

*remesh，0

计算过程中不重新划分网格

*remesh，1

在计算过程中采用网格重划分技术

*mpi

设置计算过程中是否采用分布式内存（mpi）计算方法

*mpi,mpi_flag

mpi_flag：是否采用分布式内存（mpi）计算方法，其值有：

不采用 mpi 计算

采用 mpi 计算

命令参考实例

*mpi,0

不采用 mpi 计算

*omp

设置并行共享内存算法（omp）时使用的计算机 CPU 个数（默认设置使用 CPU 个数为 1 个）

*omp,omp_flag

omp_flag：并行共享内存算法（omp）时使用的计算机 CPU 个数，其值有：1-N，N 计算机 CPU 数量

命令参考实例

*omp，5

使用 5 个 CUP 进行并行计算。

*limiter

设置通量限制器

*limiter, variable_flag

variable_flag：通量限制器选项，其值有：

1：使用minmod通量限制器2：使用super bee通量限制器3：使用van leer通量限制器

4：使用MC通量限制器

命令参考实例

*limiter,1

使用 minmod 通量限制器

*q1_flag

设置初始流体高度的输入方式

*q1_flag,q1_flag

q1_flag：定义初始流体高度的输入方式，其值有：

1：按流体实际高度 h 输入

2：按表面高度 surface 输入命令参考实例

*q1_flag,1

初始流体高度按实际高度 h 输入；

*q1_flag, 2

初始流体高度按 surface 输入；

*solver

求解器方式

*solver 1 表示有限差分法

*solver 2 表示有限体积法

*create, grid

生成计算区域在 xy 平面上的网格信息，输入方式包括从文件读入和参数输入两种方式。

a)从文件读入

*create, grid, file, file_type, filename

file_type：提供网格信息的文件类型

dem：通过 USGS 标准 dem 文件读入

filename：文件名（文件名中没有目录:，代表当前目录）

b)输入

*create, grid, input, region, ncols, nrows, xllcorner, yllcorner, cellsize_x, cellsize_y

region：计算区块的编号

ncols：长方体计算区块列数目，即 x 方向上节点数目

nrows：长方体计算区块行数目，即 y 方向上节点数目

xllcorner：长方体最左下端 x 坐标

yllcorner：长方体最左下端 y 坐标

cellsize_x：x 方向网格长度

cellsize_y：y 方向网格长度

命令参考实例

a)从文件读入

*create, grid, file, dem, z.txt

计算区块网格信息从当前目录下 z.txt 中读入

*create, grid, file, dem, c:\test\z.txt

计算区块网格信息从 c:\test\z.txt 中读入

b)输入

*create, grid, input,1, 20, 30, 0, -1, 0.1, 0.2

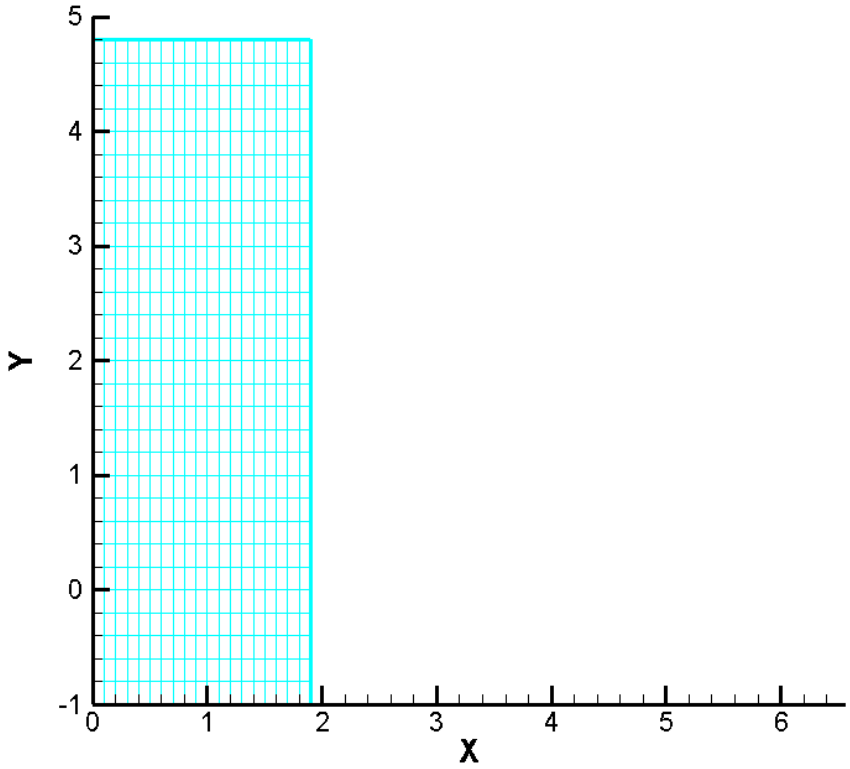


图6-2 区块网格设置

如上图所示，上述命令指的是计算区块 1 为一个 30 行、20 列，X 方向起始点为0，单元网格大小为 0.1 m，Y 方向起始点为-1，单元网格大小为 0.2 m 的规则四边形网格。

*k, number， x, y, z

k：定义节点

number：自定义节点编号

x：x 轴方向坐标

y：y 轴方向坐标

z：z 轴方向坐标（即表面高程/地形高程）

命令参考实例

*k,1,-50,-25,0

节点 1 的 x 坐标为-50，y 坐标为-25，z 坐标为 0

*rect, number, keypoint_1, keypoint_2, keypoint_3, keypoint_4, region, topo/ surface

rect－生成四边形

number：四边形编号

keypoint_1：四边形顶点 1 编号

keypoint_2：四边形顶点 2 编号

keypoint_3：四边形顶点 3 编号

keypoint_4：四边形顶点 4 编号

region：计算区块编号

topo/ surface：地形/表面高程

命令参考实例

*rect, 1, 1, 2, 3, 4, 1, topo

在区块 1 中生成由节点 1,2,3,4 组成的编号为 1 的四边形地形

*rect, 3, 9, 10, 11, 12, 1, surface

在区块 1 中生成由节点 9,10,11,12 组成的编号为 3 的四边形高程

*create, topo

生成计算区域地形高程信息，输入方式包括从文件读入、命令创建、主程序里面直接修改三种方式。

a)从文件读入

*create, topo, file, file_type, region, filename

file_type：提供网格信息的文件类型

dem：通过 USGS 标准 dem 文件读入

region：计算区块的编号

filename：文件名（文件名中没有目录，代表当前目录）

b)命令创建

*create, topo, gui, region

gui：通过点、线、面等命令来创建地形高程信息

region：计算区块的编号

c)主程序里面直接修改

*create, topo, custom, region

custom：在主程序里面直接修改

region：计算区块的编号

对应的设置通过修改 geo_topo_custom.f90 完成。

命令参考实例

a)从文件读入

create, topo, file, dem,1, z.txt

计算区块 1 地形高程信息从当前目录下 z.txt 中读入，通过命令读入易贡滑坡地形如下图所示。

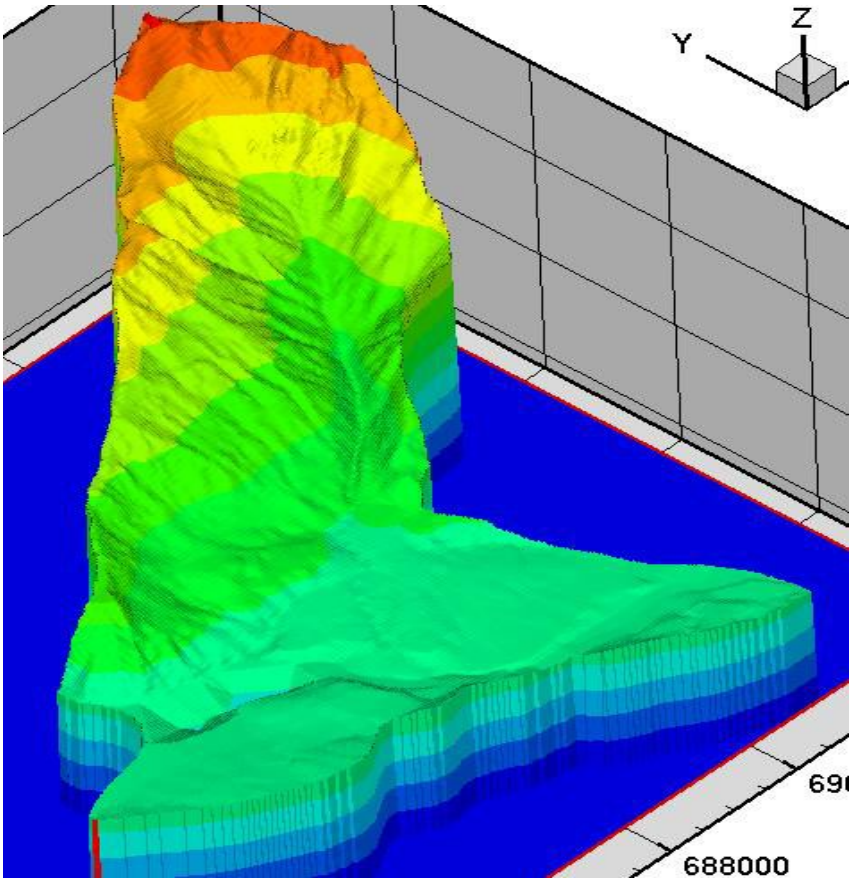


图6-3 从地形文件读入高程信息

b)命令创建

*k,1,-50,-25,0

*k,2,0,-25,0

*k,3,0,25,0

*k,4,-50,25,0

*k,5,0,-25,0

*k,6,50,-25,50

*k,7,50,25,50

*k,8,0,25,0

*rect,1,1,2,3,4,1,topo

*rect,2,5,6,7,8,1,topo

*create, topo, gui,1

计算区块 1 地形高程信息通过点—面生成坡面地形，如下图所示。

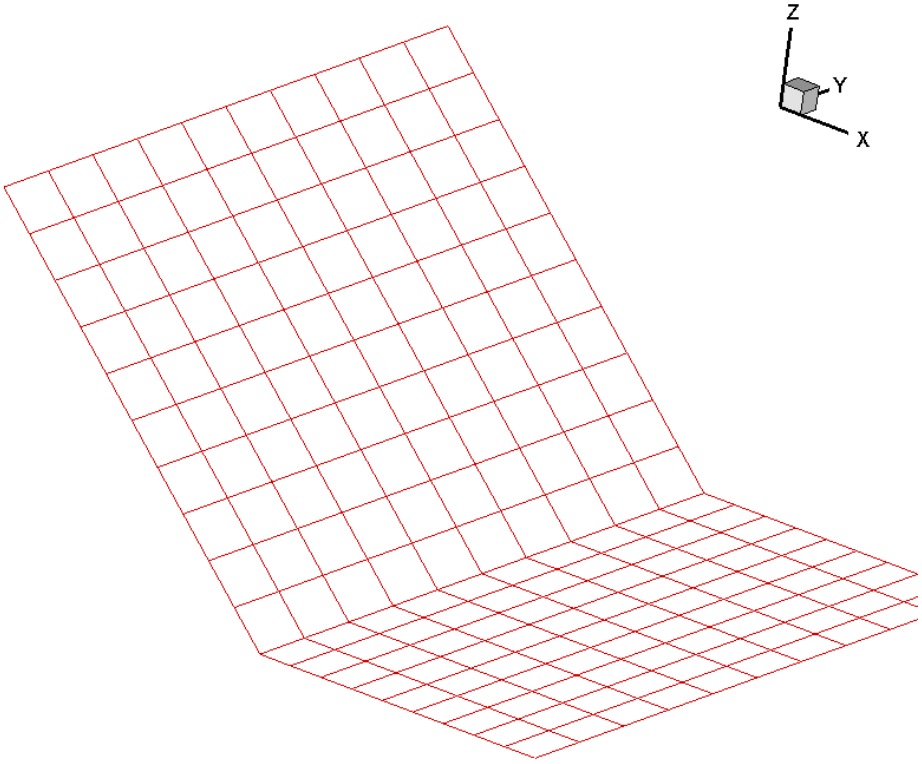


图6-4 生成坡面地形网格

c)主程序里面直接修改

*create, topo, custom,1

计算区块1 的地形高程信息通过在主程序里面修改geo_topo_custom.f90 完成

*create, surface

使用条件：

*create, surface 命令必须在 *create, topo 命令之后，因为必须先提供地形信息之后，才能通过程序计算获得运动体深度信息。

通过地表高程信息来创建运动体初始深度，地表高程信息可以通过文件读入、

命令创建、主程序里面直接修改三种方式创建。

a)从文件读入

*create, surface, file, file_type, region, filename

file_type：提供网格信息的文件类型

dem：通过 USGS 标准 dem 文件读入

region：计算区块的编号

filename：文件名（文件名中没有目录， 代表当前目录）

b)命令创建

*create, surface, gui, region

gui：通过点、线、面等命令来创建地形高程信息

region：计算区块的编号

c)主程序里面直接修改

*create, surface, custom, region

custom：直接在主程序里面直接修改

region：计算区块的编号

对应的设置通过修改 geo_surface_custom.f90 完成。

命令参考实例

a)从文件读入

create, surface, file, dem,1, z.txt

计算区块 1 的地形高程信息从当前目录下 z.txt 中读入

b)命令创建

*k,1,-50,-25,1

*k,2,0,-25,1

*k,3,0,25,1

*k,4,-50,25,1

*rect,1,1,2,3,4, ,1, surface

create, topo, gui, 1

计算区块为四边形 (0,50)*(-25,25) 范围内运动体深度为 1 m。

c)主程序里面直接修改

*create, surface, custom,1

计算区块 1 的地形高程信息通过修改 geo_surface_custom.f90 完成

*create, bound

生成边界条件，输入方式包括从文件读入、在主程序里面直接修改两种方式，当前程序提供三种边界条件：

(1) 对称边界条件

(2) 开边界条件

(3) 墙边界条件

a)从文件读入

*create, bound, file, file_type, filename, region

file_type：提供网格信息的文件类型

dem：通过 USGS 标准 dem 文件读入

filename：文件名（文件名中没有目录，代表当前目录）

region：计算区块的编号

b)在主程序里面直接修改

*create, bound, custom, region

custom：通过在主程序里面直接修改来设置边界条件

region：计算区块的编号

对应的设置通过修改 geo_bound_custom.f90 完成。

命令参考实例：

a)从文件读入

*create, bound, file, dem, 1, z.txt

计算区块 1 的边界信息从当前目录下 z.txt 中读入。

b)在主程序里面直接修改

*create, bound, custom,1

计算区块 1 的边界信息通过修改 geo_bound_custom.f90 完成

*material

定义材料属性。

*material, region, property, property_value

region：计算区块的编号

Property：材料属性，包含：

density：材料密度

friction：基底摩擦模型

earthpress：土压力系数

vel_dis_coff：动量分布系数

property_value：材料属性值

如果材料属性为 density，则代表密度值

如果材料属性为 friction，则其后第 1 个数字为摩擦模型类型代号（friction_type），然后是对应摩擦模型的参数：

1：coulomb 模型（库伦模型），输入参数为内聚力、基底摩擦系数、超空隙水压力系数；

2：Manning 模型（曼宁模型），输入参数为基底糙率；

3：Voellmy 模型（瓦宁模型），输入参数为摩擦系数和紊动系数；

3：Bingham 模型（宾汉模型），输入参数为粘聚力和粘度系数；

5-n：后续将会加入更多的摩擦模型。

Custom：用户自定义模型，输入参数为自定义参数个数和对应的参数值如果材料属性为 earthpress，属性值输入为内摩擦角和基底摩擦角，单位为幅度。其中土压力计算公式如下：

$$\left.\begin{matrix} k_{active} \\ k_{passive} \end{matrix}\right\} = \frac{2}{\cos^2\phi} \times \left[1 \mp \sqrt{1-(1+\tan^2\delta)\cos^2\phi}\right] - 1$$

命令参考实例

*material, 1, density, 1000

区块 1 的材料的密度为 1000 kg/m^3。

*material, 1, friction, 1,0, 0.5,0

区块1 的材料的基底摩擦模型为库伦模型（Coulomb），且其内聚力为 0；摩擦系数为0.5；超空隙水压力系数为 0。

*material, 1, friction, 2, 0.02

区块 1 的材料的基底摩擦模型为曼宁模型（Manning），且其曼宁系数为 0.02。

*material, 1, friction, 3, 0.2, 200

区块 1 的材料的基底摩擦模型为瓦宁模型（Voellmy），且其摩擦系数为 0.2，紊动系数为 200。

*material,1, friction, 99, 3, 0.2, 0.3, 0.5

区块 1 的材料的基底摩擦模型为自定义模型，且参数个数为 3 个，参数值分别为 0.2, 0.3, 0.5。

*material, 1, earthpress, 0.8, 0.5

区块 1 的材料的需要考虑土压力系数，公式（1）中的内摩擦角和基底摩擦角分别为 0.8 和 0.5。

*material, 1, vel_dis_coff, 1,1,1

材料的需要考虑动量分布系数。

*material_assign

设置材料分配

*material_assign, region, position, mat_flag

region：计算区块的编号

position：将区块材料属性分配顶表面或者底表面，以判断摩擦力情况。其值有：

0/bottom：区块底部受摩擦力

1/top：区块顶部受摩擦力

mat_flag：判断是否受摩擦力，其值有：

0：直接不受摩擦力

1：受摩擦力

命令参考实例

*material_assign, 1, 0, 1

计算区块 1 的底部受摩擦力

*material_assign, 1, 1, 1

计算区块 1 的顶部受摩擦力

*material_assign, 1, 0, 0

计算区块 1 的底部不受摩擦力

*material_assign, 1, 1, 0

计算区块 1 的顶部不受摩擦力

*time

计算时间步长设置

a)固定时间步长

*time, 0, total_time, dt,

total_time：计算总时间

dt：每个计算步固定时间步长

b)变时间步长

*time, total_time, dt, courant_number

total_time：计算总时间

dt：初始计算步时间步长

courant_number：courant 数

命令参考实例

*time, 0, 100, 2

采用固定时间步长，计算总时为 100s，固定时间步长 2s

*time, 1, 100, 2, 0.25

采用变时间步长，计算总时为 100s，初始时间步长 2s，courant 数为 0.25

*output

以文件形式输出计算结果。

a)输出标准 DEM 文件数据

*output, output_num, dem, output_variable, region, output_time_method

output_num：输出命令编号

dem：输出标准 dem 格式数据

output_variable：输出哪些计算变量，变量包括 h,u,v,

h：运动体高度

u：运动体 x 方向速度

v：运动体 y 方向速度

region：计算区块编号

output_time_method：选择输出变量时间间隔方法

1：固定时间间隔步长，后面需要输出固定间隔时间变量

2：自定义输出时间间隔，后面首先输入自定义时间个数，然后输入每一个具体的时间。

b)输出 tecplot 文件数据

*output, output_num, tecplot, output_tecplot_method, region,

output_time_method

output_num：输出命令编号

tecplot：输出 tecplot 格式数据

output_tecplot_method： 输出 tecplot 方式

1：以面的形式输出 tecplot

2：以体的形式输出 tecplot region：计算区块编号output_time_method

选择输出变量时间间隔方法：

1：固定时间间隔步长，后面需要输出固定间隔时间变量；

2：自定义输出时间间隔，后面首先输入自定义时间个数，然后输入每一个具体的时间。

命令参考实例

*output, 1, tecplot, 1, all, 1, 2

每隔 2s 以 tecplot 面格式输出所有区域或全部层的计算结果

*output, 2, dem, h, all, 1, 4

每隔 4s 按 dem 格式文件输出所有区域或全部层中的 h 变量结果

*output, 3, dem, h, all, 2, 3, 0.1, 0.2, 0.3

在 0.1，0.2，0.3s 按 dem 格式文件输出第一区域/层中的 h 变量结果

Input 实例

*nregions, 1

*type, 1

*erosion, 0

*density, 0

*grav_inertia, 0

*ndim, 2

*mbc, 2

*remesh, 0

*mpi, 0

*omp, 1

*limiter, 1

*q1_flag, 1

*create, grid, input, 1, 101, 51, -50, -25, 1, 1

*k, 1, -50, -25, 0

*k, 2, 0, -25, 0

*k, 3, 0, 25, 0

*k, 4, -50, 25, 0

*k, 5, 0, -25, 0

*k, 6, 50, -25, 50

*k, 7, 50, 25, 50

*k, 8, 0,25, 0

*k, 9, 30, -5, 40

*k, 10, 40, -5, 40

*k, 11, 40, 5, 50

*k, 12, 30, 5, 50

*rect, 1, 1, 2, 3, 4, 1, topo

*rect, 2, 5, 6, 7, 8, 1, topo

*rect, 3, 9, 10, 11, 12, 1, surface

*create, topo, gui, 1

*create, surface, gui, 1

*create, bound, custom, 1

*material, 1, density, 1000

*material, 1, friction, 1, 0, 0.1, 0

*material_assign, 1, 0, 1

*time, 1, 0.5, 0.02, 0.125

*output, 1, tecplot, 1, all, 1, 0.5

*output, 2, tecplot, 1,all, 2, 3, 0.1, 0.2, 0.4

*output, 3, dem, h, all, 1, 0.5

*output, 4, dem, h, all, 2, 3, 0.1, 0.2, 0.3

第7章 计算实例操作

我们提供一些基本的计算案例，供大家快速上手，强烈建议大家再认真的一步一步操作这些案例，同时融会贯通，能够举一反三，也就达到我们详细描述这些基本案例的初衷，我们也特别欢迎大家把自己开展的案例，按照下面的描述方式，提供给我们，以帮助更多的新学者。

case1——二维溃坝数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟一个二维尺度下简单溃坝问题，计算模型及尺寸见下图7-1；

底面地形高度设为0；

x方向长度为 1m，x坐标小于 0.3m流体高度为 0.4m，其它地方流体高度为0；

所有边界条件为默认设置，即墙边界条件；

基底模型采用曼宁模型，相应曼宁系数设为 0.02。土压力系数设为常数 1。

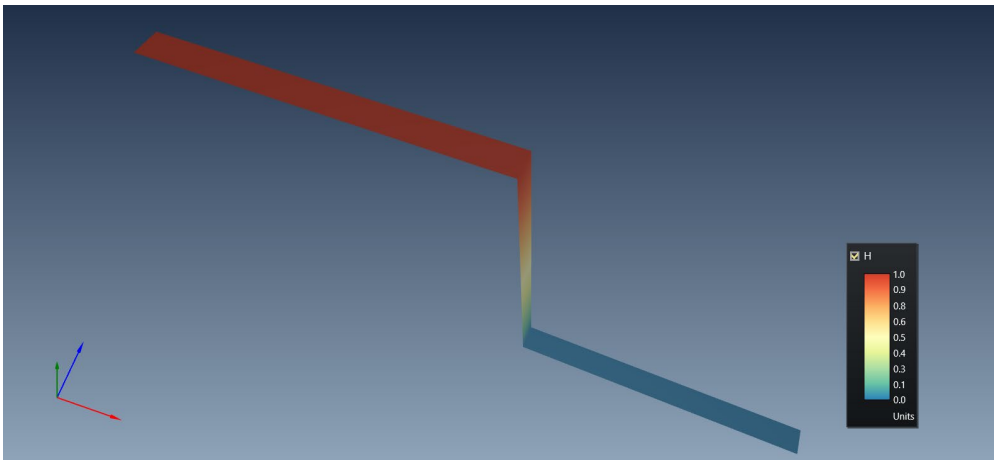


图7-1 二维简单溃坝模型

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case1，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case1 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

针对计算案例的初始流体高度有两种方式进行设置：

方式（一）

用户可在 main 文件夹中打开 massflow.sln 自行修改相应的代码，通过 Microsoft Visual Studio（VS）编译的重新生成的 Massflow.exe 文件拷到当前工作文件夹目录下将原文件覆盖。

通过用户自定义构建模型需要在 geo_depth_custom.f90 进行的设置如下：

```
do i=1-mbc,nx+mbc do j=1-mbc,ny+mbc
if ( x(i,j) <= 0.3 ) then
q(1,i,j)=0.4
else
q(1,i,j)=h_dry endif
enddo enddo
```

方式（二）

如果通过命令创建模型，则可在命令流文件 input.txt 中直接输入相关命令。该案例的边界和地形高程信息均采用默认，即墙边界和 z=0。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case1 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过程序设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
```

*omp,4

*limiter,1

*q1_flag,1

*solver,1

*create,grid,input,1,100,5,0,0,0.02,0.02

*create,topo,custom,1

*create,surface,custom,1

*create,bound,custom,1

*material,1,density,1000

*material,1,friction,2,0.02

*material_assign,1,0,1

*time,1,2,0.01,0.25

*output,1,tecplot,1,all,1,0.02

命令流 2：通过命令流设置地形和流体高度

*nregions,1

*type,1

*erosion,0

*density,0

*grav_inertia,0

*ndim,2

*mbc,2

*remesh,0

*mpi,0

*omp,1

*limiter,1

*q1_flag,1

*solver,1

*create,grid,input,1,100,5,0,0,0.02,0.02

*k,1,0,0,0.4

*k,2,0.3,0,0.4

*k,3,0.3,0.04,0.4

*k,4,0,0.04,0.4

*rect,1,1,2,3,4,1,surface

*create,topo,custom,1

*create,surface,gui,1

*create,bound,custom,1

*material,1,density,1000

*material,1,friction,2,0.02

*material_assign,1,0,1

*time,1,2,0.01,0.25

*output,1,tecplot,1,all,1,0.02

case2——二维滑坡数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟一个二维尺度下简单滑坡问题，计算模型模拟图展示见图7-2；

基底模型采用库伦模型（Coulomb），相应基底摩擦系数设为 0.215。

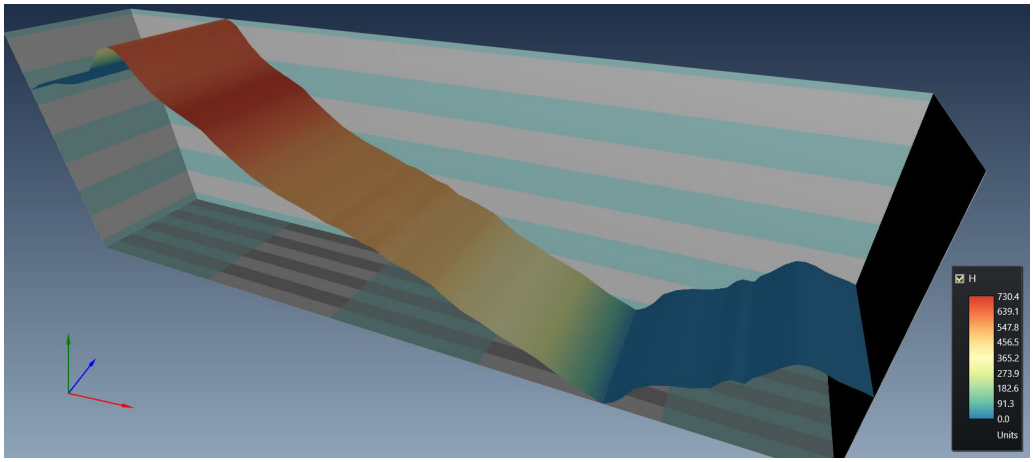


图7-2 二维滑坡模型

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case2，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case2 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

针对计算案例的初始流体高度有两种方式进行设置：

方式（一）

用户可在 main 文件夹中打开 massflow.sln 自行修改相应的代码，通过 Microsoft Visual Studio（VS）编译的重新生成的 Massflow.exe 文件拷到当前工作文件夹目录下将原文件覆盖。

通过用户自定义构建模型需要在 geo_depth_custom.f90 进行的设置如下：

```
do i=1-mbc,nx+mbc do j=1-mbc,ny+mbc
if ( x(i,j) <= 0.3 ) then
q(1,i,j)=0.4
else
```

q(1,i,j)=h_dry endif

enddo enddo

方式（二）

如果通过命令创建模型，则可在命令流文件 input.txt 中直接输入相关命令。该案例的边界和地形高程信息均采用默认，即墙边界和 z=0。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case2 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过程序设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,4
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,478,80,0,0,10,10
*create,topo,custom,1
*create,surface,custom,1
*create,bound,custom,1
*material,1,density,2000
*material,1,friction,2,0.02
*material_assign,1,0,1
*time,1,2,0.01,0.25
*output,1,tecplot,1,all,1,0.02
```

命令流 2：通过命令流设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,1
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,478,80,0,0,10,10
*k,1,0,0,0.4
*k,2,0.3,0,0.4
*k,3,0.3,0.04,0.4
*k,4,0,0.04,0.4
*rect,1,1,2,3,4,1,surface
*create,topo,custom,1
*create,surface,gui,1
*create,bound,custom,1
*material,1,density,2000
*material,1,friction,2,0.02
*material_assign,1,0,1
*time,1,2,0.01,0.25
*output,1,tecplot,1,all,1,0.02
```

case3——二维不对称溃坝数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟一个二维不对称溃坝的问题。计算模型及尺寸见下图7-3。

底面地形高度设为10；x、y 方向长度为 100, 流体高度为10m，其它地方流体高度为 0；

基底模型采用曼宁模型，相应曼宁系数设为 0.02。土压力系数设为常数 1。

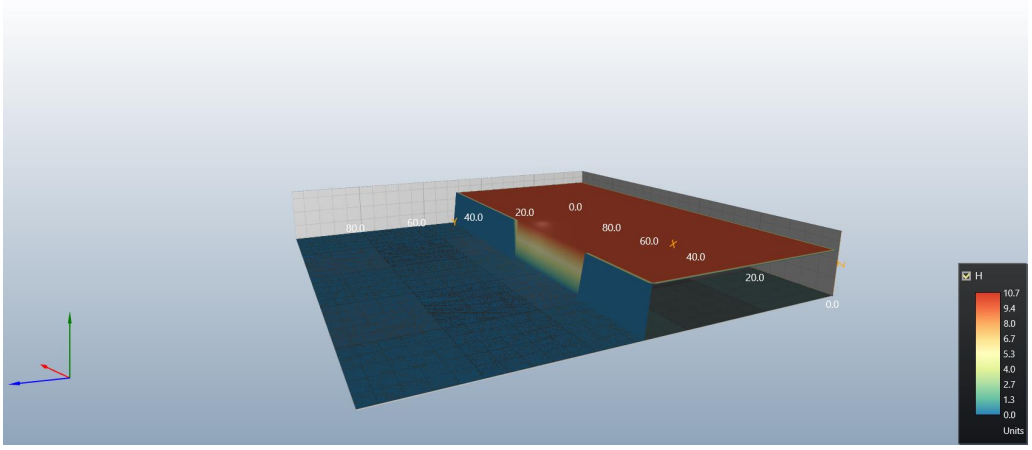


图7-3 二维不对称溃坝模型

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case3，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case3中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形信息和坝体是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形信息文件 z.txt 和坝体文件 h.txt 拷贝到工作文件目录下。

第三步：所有参数设置完成后，case3 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
```

*density,0

*grav_inertia,0

*ndim,2

*mbc,2

*remesh,0

*mpi,0

*omp,1

*limiter,1

*q1_flag,1

*solver,1

*create,grid,input,1,100,100,-4.4408920985006E-16,0,1,1

*create,topo,file,dem,1,z.txt

*create,h,file,dem,1,h.txt

*create,bound,custom,1

*material,1,density,1000

*material,1,friction,2,0.02

*material_assign,1,0,1

*time,1,30,0.01,0.25

*output,1,tecplot,1,1,1,2

case4——二维对称溃坝数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟一个二维对称溃坝问题，计算模型及尺寸见下图7-4；

底面地形高度设为10；x、y方向长度为 100m，,流体高度为10m，其它地方流体高度为0；

基底模型采用曼宁模型，相应曼宁系数设为 0.02。土压力系数设为常数 1。

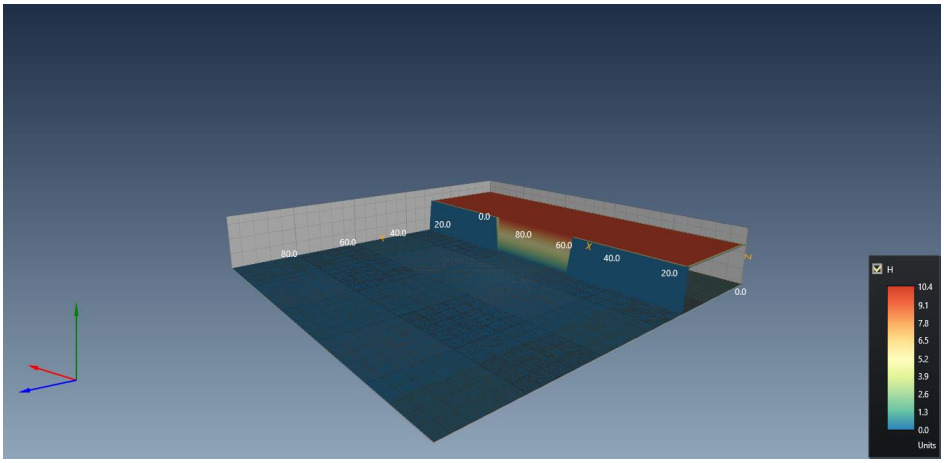


图7-4 二维对称溃坝模型

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case4，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case4 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形信息和坝体是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形信息文件 z.txt 和坝体文件 h.txt 拷贝到工作文件目录下。

第三步：所有参数设置完成后，case4中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

*nregions,1

*type,1

*erosion,0

*density,0

*grav_inertia,0

*ndim,2

*mbc,2

*remesh,0

*mpi,0

*omp,4

*limiter,1

*q1_flag,1

*solver,1

*create,grid,input,1,100,100,-4.4408920985006E-16,0,1,1

*create,topo,file,dem,1,z.txt

*create,h,file,dem,1,h.txt

*create,bound,custom,1

*material,1,density,1000

*material,1,friction,2,0.02

*material_assign,1,0,1

*time,1,30,0.01,0.25

*output,1,tecplot,1,1,1,2

case5——L 型水槽实验

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟L型水槽实验的问题。计算模型及尺寸见图7-5。

底面地形高度6m，流体高度为4m,水库底面高度为2m,边界高度为10m。

基底模型采用曼宁模型，相应曼宁系数设为 0。土压力系数设为常数 1。

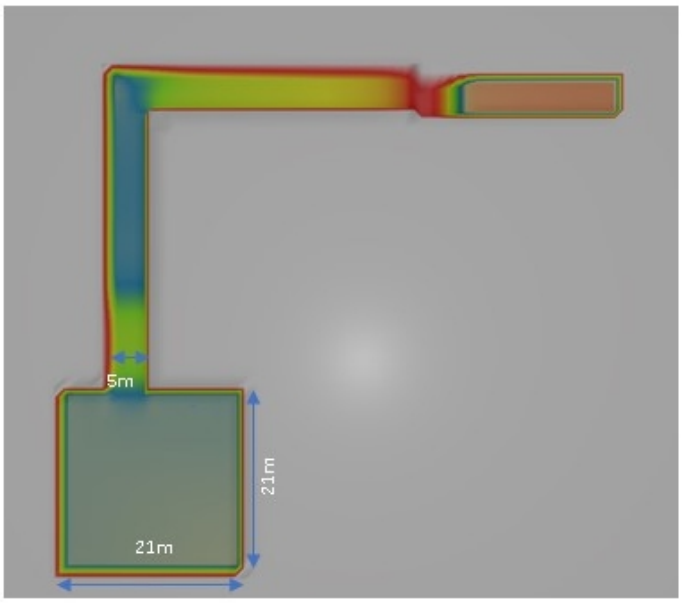


图7-5 L型水槽实验模型

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case5，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case5中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形高程信息是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 拷贝到工作文件目录下。

第三步：所有参数设置完成后，case5中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt、h.txt、z.txt），双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,4
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,100,100,-4.4408920985006E-16,0,1,1
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*create,bound,custom,1
*material,1,density,1000
*material,1,friction,2,0
*material_assign,1,0,1
*time,1,30,0.01,0.25
*output,1,tecplot,1,1,1,2
```

case6——圆柱坍塌数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟圆柱坍塌的运动。计算模型见下图 7-6。

计算尺寸选取：底面圆半径为100m，高250m；

所有边界条件为默认设置，即墙边界条件；基底模型采用库伦（Coulomb）摩擦模型。

坍塌过程如下图7-7所示。

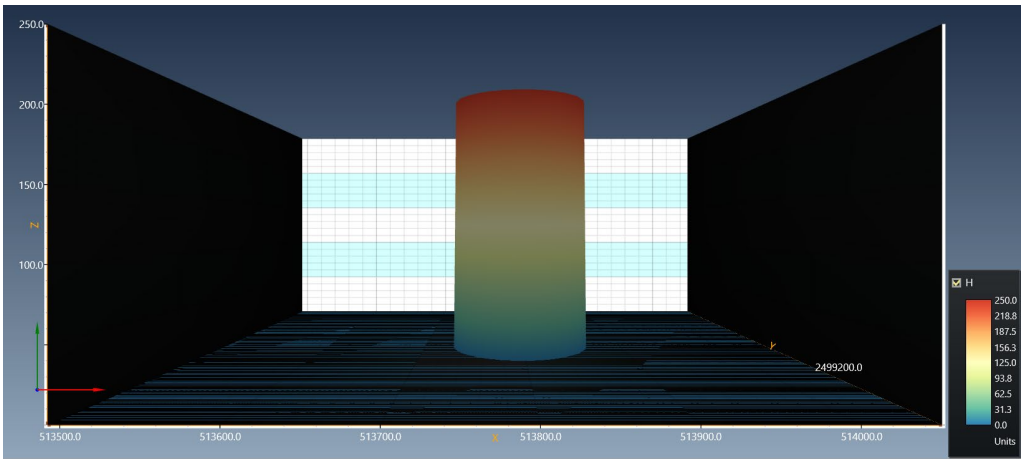


图7-6 圆柱计算模型

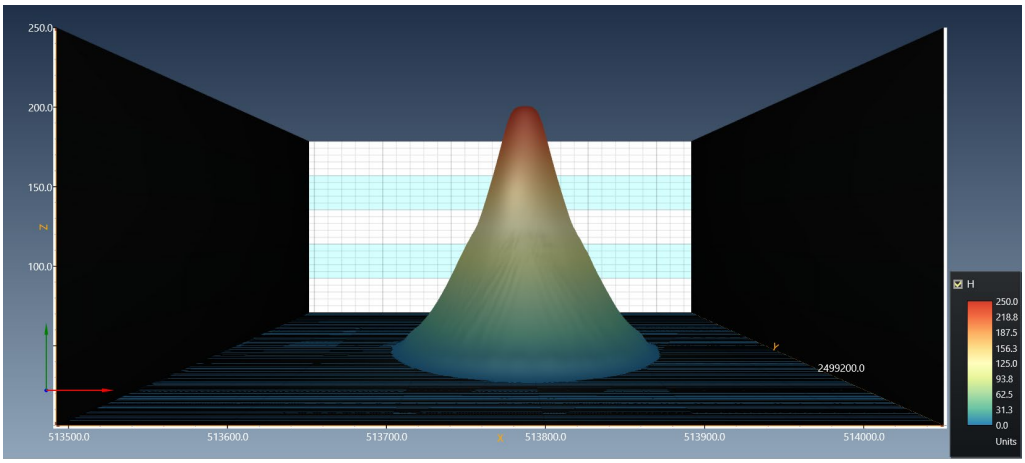


图7-7 圆柱坍塌模拟图

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case6，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case6 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形信息和圆柱体初始状态是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形信息文件 z.txt 和圆柱体高度 h.txt 拷贝到工作文件目录下。

该案例的边界采用默认，即墙边界。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case6 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt、h.txt、z.txt），双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,1
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,280,233,513494,2499055.8,2,2
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*create,bound,custom,1
*material,1,density,1000
*material,1,friction,1,0,0.364,0
*material_assign,1,0,1
*time,1,14,0.05,0.25
*output,1,tecplot,1,1,1,1
```

case7——香港滑坡数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟香港滑坡的运动。计算模型见下图7-8。计算尺寸选取：底面长 200m，宽为 40m；

所有边界条件为默认设置，即墙边界条件；

基底模型采用库伦（Coulomb）摩擦模型，相应库伦摩擦系数设为 0.364。土压力系数设为常数 1。

滑坡堆积区域如下图7-9所示。

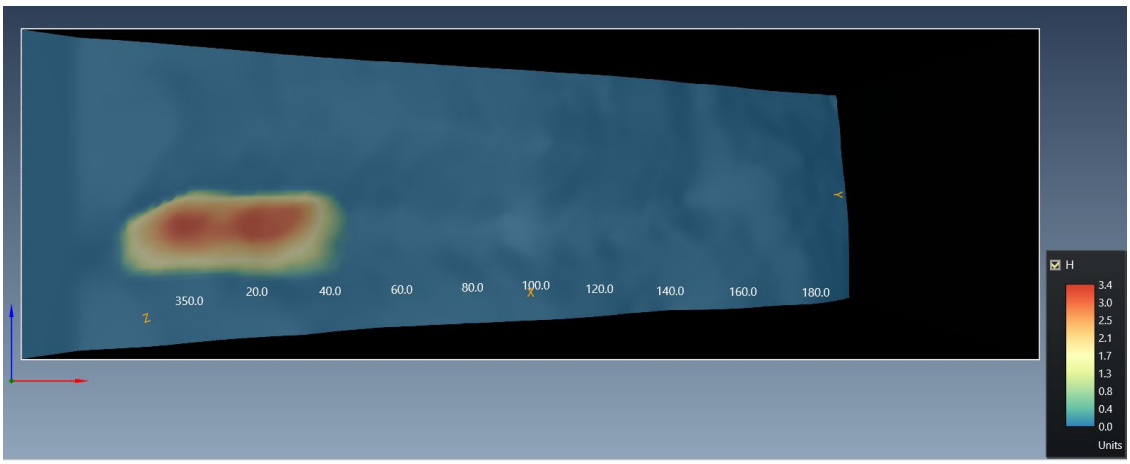


图7-8 香港滑坡计算模型

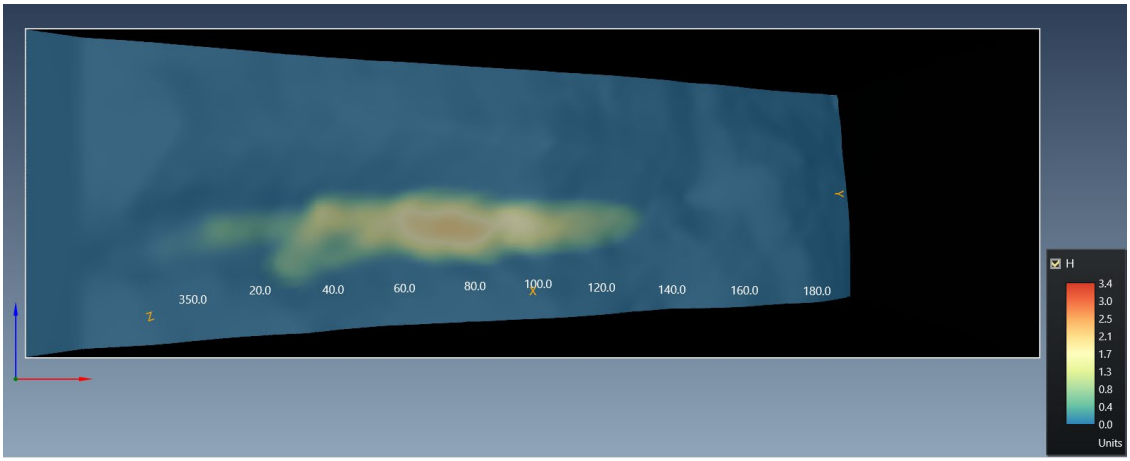


图7-9 香港滑坡模拟结果图

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case7，将可执行文件 massflow.exe、main

文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case7 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形高程信息和滑坡体初始状态是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 和滑坡体高度 h.txt 拷贝到工作文件目录下。该案例的边界采用默认，即墙边界。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case7 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt、h.txt、z.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,4
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,all,168,55,14.5,-5.5,1,1
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*create,bound,custom,1
*material,1,density,2200
*material,1,friction,1,0,0.364,0
*material_assign,1,0,1
*time,1,70,0.05,0.25
*output,1,tecplot,1,1,1,1 0
```

case8——白格滑坡数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟白格滑坡的运动。计算模型见下图7-10。所有边界条件为默认设置，即墙边界条件；

数值模拟采用有限差分法；密度为2400kg/m^3，基底模型采用库伦摩擦模型（Coulomb），相应库伦摩擦系数设为 0.4，粘聚力为25000pa，孔隙水压力系数为0.3。

滑坡地形区域如下图7-11所示：

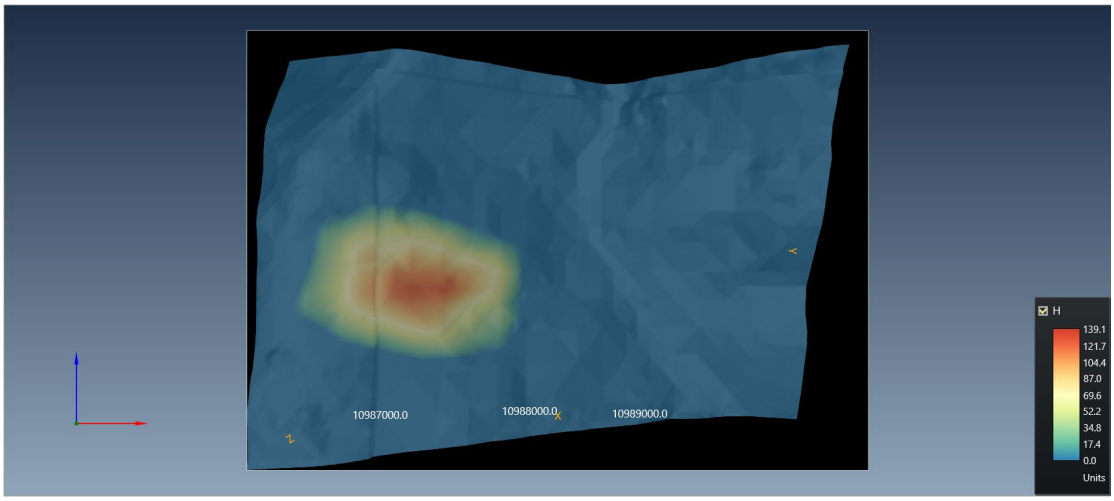


图7-10 白格滑坡计算模型

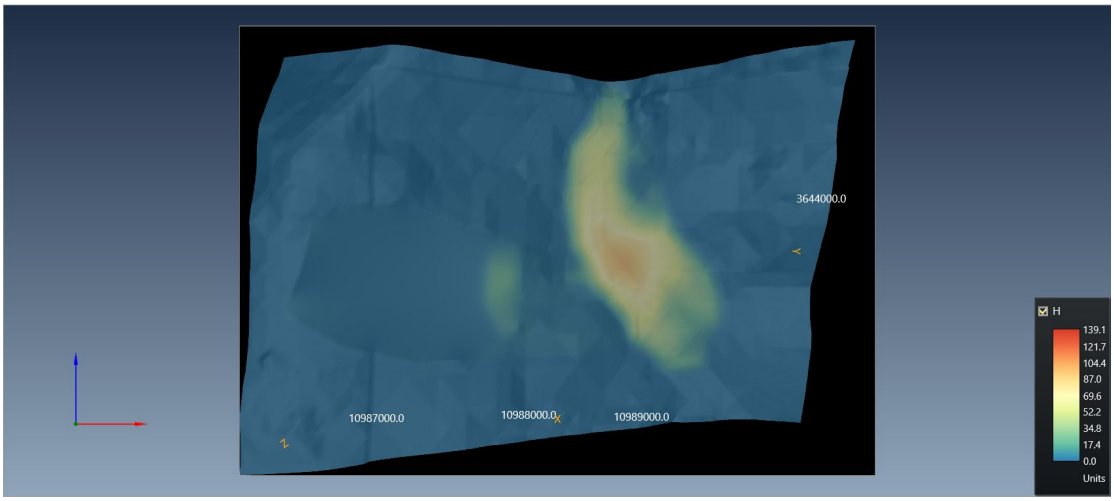


图7-11 白格滑坡模拟结果图

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case8，将可执行文件 massflow.exe、main

文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case8 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形高程信息是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 拷贝到工作文件目录下。

针对计算案例的初始流体高度，用户可在 main 文件夹下打开 massflow.sln自行修改相应的代码，通过 Microsoft Visual Studio（VS）编译的重新生成的 massflow.exe 文件拷到当前工作文件夹目录下将原文件覆盖。

本计算案例是地形高程信息和滑坡体初始状态是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 和滑坡体高度 h.txt 拷贝到工作文件目录下。

该案例的边界采用默认，即墙边界。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case8 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt、h.txt、z.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,4
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,300,212,10986815,3642613,10,10
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*material,1,density,2400
```

*material,1,friction,1,25000,0.4,0.3

*material_assign,1,0,1

*time,1,100,0.01,0.25

*output,1,tecplot,1,1,1,10

case9——易贡滑坡数值模拟

案例介绍

本计算实例采用 Massflow 软件模拟易贡滑坡的运动。计算模型见下图7-12，图7-13。所有边界条件为默认设置，即墙边界条件；

基底模型采用库伦摩擦模型，相应基底摩擦系数设为 0.2，粘聚力500。

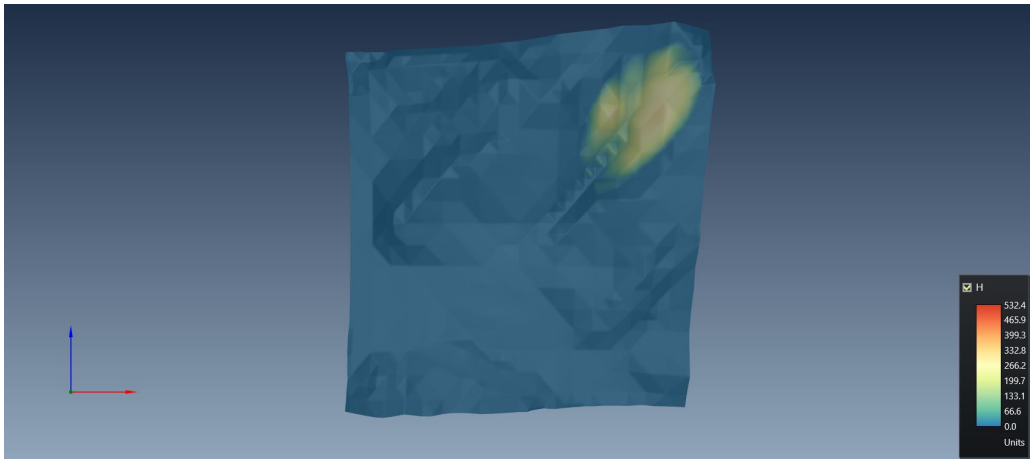


图7-12 易贡滑坡计算模型

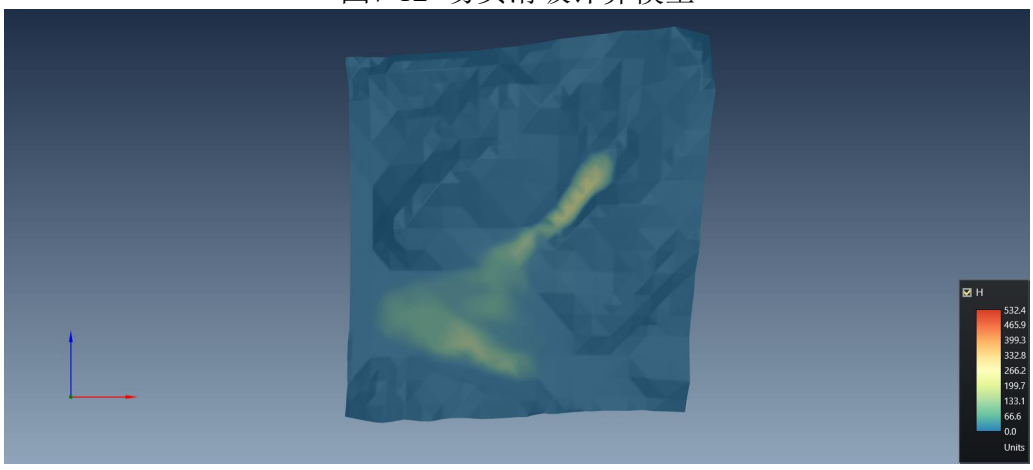


图7-13 易贡滑坡模拟结果图

操作步骤

第一步：新建一个文件夹，命名为 case9，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在 case9 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形高程信息是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 拷贝到工作文件目录下。

针对计算案例的初始流体高度，用户可在 main 文件夹下打开 massflow.sln自

行修改相应的代码，通过 Microsoft Visual Studio（VS）编译的重新生成的 massflow.exe 文件拷到当前工作文件夹目录下将原文件覆盖。

本计算案例是地形高程信息和滑坡体初始状态是采用文件读取的方式进行导入的。因此将地形高程信息文件 z.txt 和滑坡体高度 h.txt 拷贝到工作文件目录下。

该案例的边界采用默认，即墙边界。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case9 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt、h.txt、z.txt），双击执行文件 massflow.exe 运行。

本计算实例的命令流文件—input.txt

命令流 1：通过读取文件的方式设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,12
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,250,261,10564670,3523355,45,45
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*material,1,density,2200
*material,1,friction,1,15000,0.2,0
*material_assign,1,0,1
*time,1,200,0.01,0.25
*output,1,tecplot,1,1,1,20
```

case10——USGS 水槽泥石流实验模拟

案例介绍

本案例为采用 Massflow 软件模拟一个USGS水槽泥石流实验——复杂初始条件设置案例。具体模型尺寸见下图7-14。

摩擦模型为Voellmy模型，根据相关资料，摩擦系数取 0.3。滑坡最终堆积状态如图7-15。

底面地形为倾斜31°；X、Y方向长度为95、4，其他地方地形高度为0；

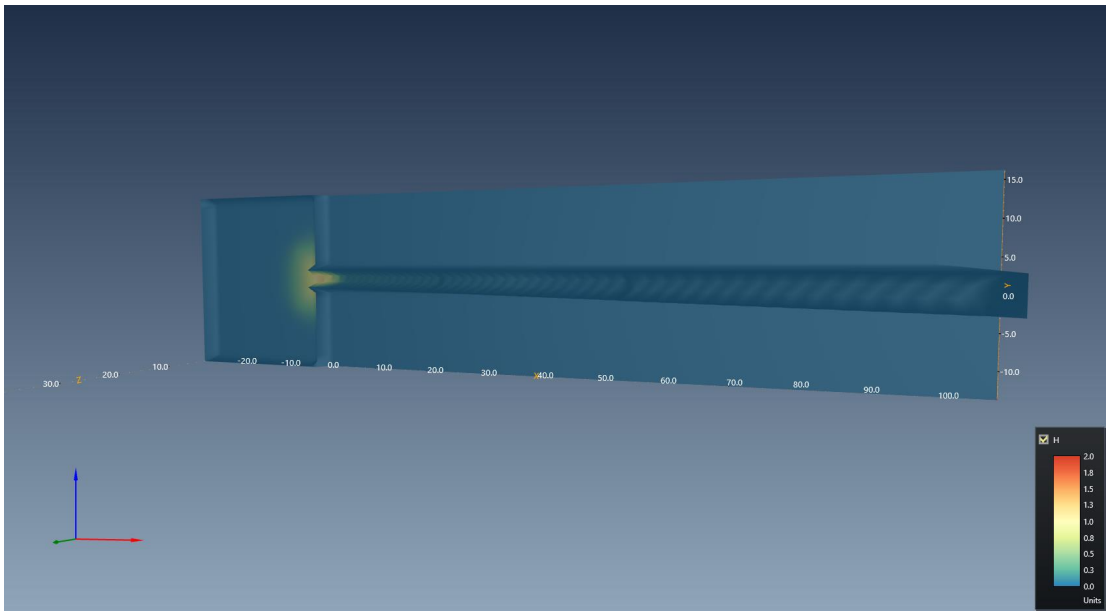


图7-14 USGS水槽泥石流实验模型

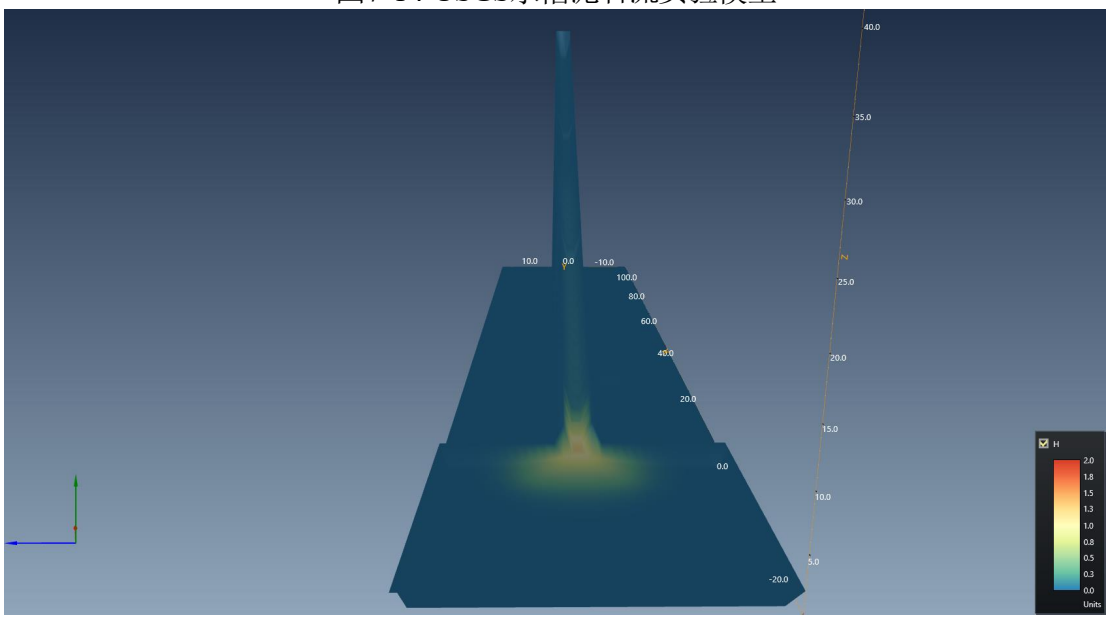


图7-15 USGS水槽泥石流实验模拟结果图

第一步：新建一个文件夹，命名为 case10，将可执行文件 massflow.exe、main 文件夹、solver.dll 拷贝到该文件夹目录下。

第二步：在case10 中新建命令流文件 input.txt 进行计算前的一些设置准备，包括基本参数设置、模型导入以及分析步设置等。

本计算案例是地形高程信息是采用命令的方式进行导入的。

该案例的边界采用默认，即墙边界。

其他模型参数直接在命令流文件 input.txt 中输入。

第三步：所有参数设置完成后，case10 中包含文件（massflow.exe、main 文件夹、solver.dll、input.txt）双击执行文件 massflow.exe 运行。

第四步：

本计算实例的命令流文件—input.txt

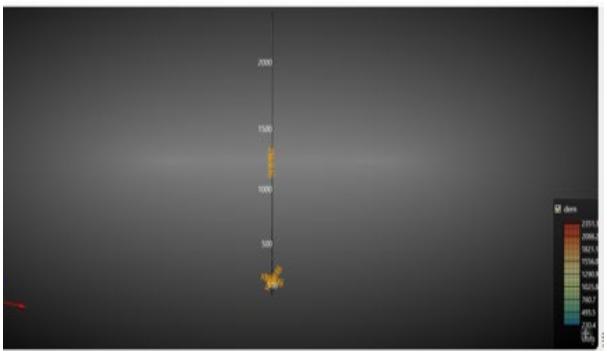
命令流 1：设置地形和流体高度

```
*nregions,1
*type,1
*erosion,0
*density,0
*grav_inertia,0
*ndim,2
*mbc,2
*remesh,0
*mpi,0
*omp,8
*limiter,1
*q1_flag,1
*solver,1
*create,grid,input,1,1,131,31,-25.475708007813,-13.788269042969,1,1
*create,topo,file,dem,1,z.txt
*create,h,file,dem,1,h.txt
*create,bound,custom,1
*material,1,density,2000
*material,1,friction,3,0,0
*time,1,40,0.01,0.25
*output,1,tecplot,1,1,1,2
*output,2,dem,h,1,1,2
```

第8章 帮助和问题报告

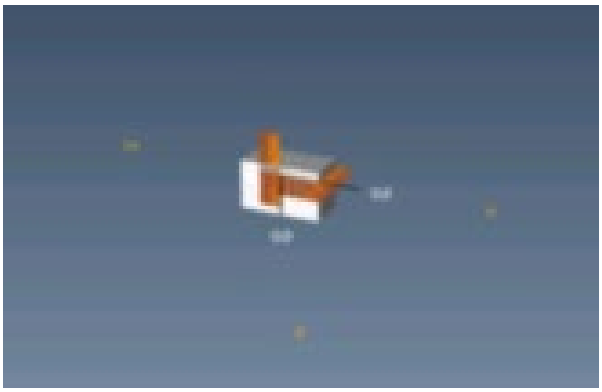
1. Q:加载模型出现以下问题？

   A:调整 XYZ 比例。



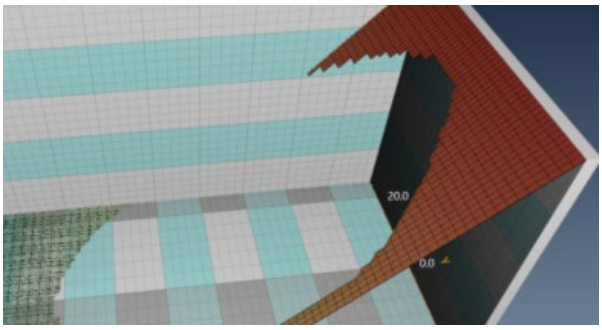
2. Q:加载模型出现以下问题？

   A:模型太小了，请调整模型大小。



3. Q:导入模型出现模型缺失问题？

   A:计算参数错误，请调整计算参数。



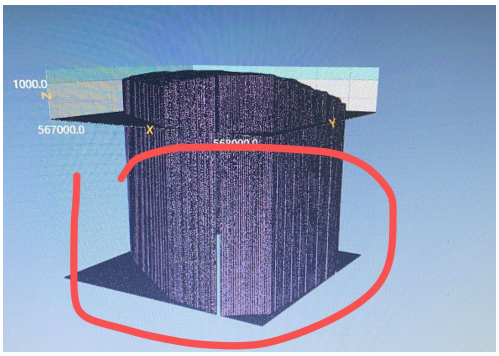
4. Q:用界面版本模拟滑坡启动的泥石流的时候，不管怎么更改参数，最终所有物源都会一起滑出沟口，无法实现沟道也有堆积，这种情况怎么解决？

   A:(1)dem 精度问题，dem 可能与真实地形误差较大；

   (2)地形坡降大，模拟过程中实际测得的摩擦系数不足以让它在沟道停止；

   (3)摩擦模型选取是否正确，建议进一步核查模型。

5. Q:导入模型出现下面的图像：



A:这是由于 z 和 h 文件中含有-9999 数字造成的，-9999 是无效值，要想办法去除掉，在 arcgis 中通常替换为 0。

6. Q:请问湍流系数和基底摩擦系数用什么方法得到的？

A:一般是用反分析或参数率定办法确定。

7. Q:安装 Massflow 后出现浏览地球打不开？

A:打开 CMD 命令行，允行命令 npm uninstall -g http-serve，卸载当前 http-server 服务，运行 npm install -g http-server@0.12.3，安装 0.12.3 版本 http-server 即可解决。

8. Q:软件可以加泥石流拦挡坝吗？

A:可以通过处理等高线，改变地形的方式，添加流性的梳齿坝。

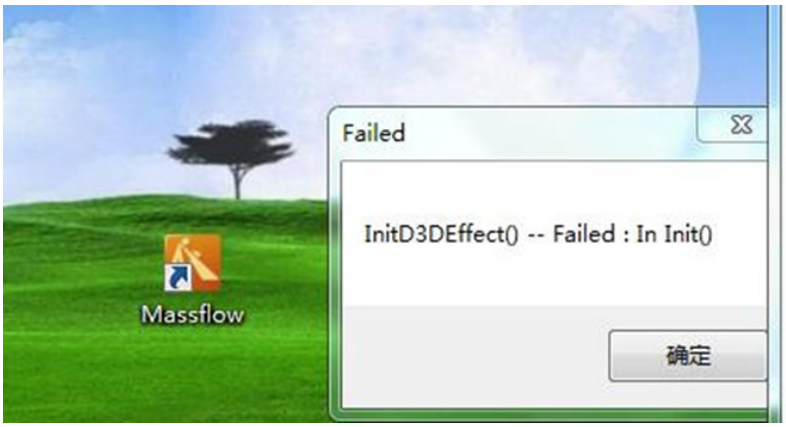
9. Q:软件是否能计算地震对初始条件的影响吗？

A:可以计算，需要自己加初始加速度。

10. Q:部分电脑 Massflow 安装和运行没有错误，点击运行 input.txt 后出现下面问题：

A:当前界面文件是跨平台的，执行文件是 64 位系统的，如特别需要 32 位，我们可以重新生成，单独发一份给您。

11. Q:部分电脑安装没有问题，点击图标后出现下面问题：



A:可能是由于部分电脑缺少 directx 必要插件，建议安装 DXSDK_Jun10.exe，也可以到官方网站下载 https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=6812，directX。

12. Q:如果运行计算案例里面已经生产好的执行文件没有计算结果出现，也没有报错信息。

A:建议去文件夹里面，首先查看一下是否有.plt 结果文件生产，也可以在文件夹里面点击 massflow_calc.exe，有错误应该会有提醒。

13. Q:如果点击 massflow_calc.exe 出现提示缺少 fmpich2.lib。

A:应该是 mpich 文件没有安装或者没有装好，建议安装安装目录报下面的文件，还是不行的话，可以检查其目录是否 Path 环境变量下，通常安装 32 位的 mpich 就可以了，如果电脑比较特殊或者一直提示这个错误，建议去 http://www.mpich.org/下载合适版本。

14. Q:如果点击 massflow_calc.exe 出现没有合适的 libmmd.lib，或者没有计算结果。

A:那么请先安装 Visual Studio 2010 和 Intel fortran 9.0 编译器或者以上版本。

15. Q:如果需要编辑和修改 dll 动态链接库。

A:请先下载 Visual Studio 2010 和 Intel fortran 9.0 编译器或者以上版本。

第9章 附录

Massflow 软件是开发团队历时多年完成，也有非常多的参考资料可供大家借鉴，感谢所有使用者的鞭策和鼓励，祝大家多多出成果，下面是部分引用对应的参考文献：

(1) Chaojun Ouyang, Siming He, Qiang Xu, Yu Luo, Wencheng Zhang. A MacCormack-TVD finite difference method to simulate the mass flow in mountainous terrain with variable computational domain. Computers & Geoscience 2013;52 1–10.（Massflow 最早的一篇文章，在这篇文章中我们开发了我们第一版程序）

(2) Richard M Iverson, Chaojun Ouyang. Entrainment of bed material by Earth-surface mass flows: Review and reformulation of depth-integrated theory. Reviews of geophysics 2015, 53(1): 27-58. （提出了深度积分模型，后续的版本中模型基本方程来源）

(3) Chaojun Ouyang, Kaiqi Zhou, Qiang Xu, Jianhua Yin, et al. Dynamic analysis and numerical modeling of the 2015 catastrophic landslide of the construction waste landfill at Guangming, Shenzhen, China. Landslides, 2017, 14(2):1-14. （深圳光明新区滑坡研究，提出了考虑孔隙水压力的库伦摩擦模型（Coulomb））

(4) Chaojun Ouyang, Siming He, Chuan Tang. Numerical analysis of dynamics of debris flow over erodible beds in Wenchuan earthquake-induced area. Engineering Geology, 2015,194: 62-72.（汶川地震区泥石流运动过程模拟，提出了泥石流基底侵蚀率模型）

(5) Ouyang, Chaojun，An Huicong, Zhou Shu，Wang Zhongwen, Su Pengcheng, Xu, Wang, Dongpo, Cheng Duoxiang, She Jinxing.Insights from the failure and dynamic characteristics of two sequential landslides at Baige village along the Jinsha River, China, Landslides, 2019, 16(7): 1397-1414. （金沙江白格两次滑坡运动过程成功模拟，ESI 高被引论文，白格滑坡最早的研究论文之一）

(6) Chaojun Ouyang, Siming He, Qiang Xu. MacCormack-TVD finite difference solution of dam-break hydraulics over erodible alluvial sediment. Journal of Hydraulic Engineering 2015,141(5). （水力学以及基底侵蚀方面的应用）

(7) Huicong An, Chaojun Ouyang*, Dongpo Wang. (2021) A new two-phase flow model based on coupling of the depth-integrated continuum method and discrete element method. Computers and Geoscience. 146,104640. （Massflow 与离散元方法的耦合，实现广义深度积分的连续介质力学理论及方法和离散元耦合计算模拟）

其他研究论文请参考以下链接：

Researchgate：https://www.researchgate.net/profile/Chaojun-Ouyang

Google Scholar：https://scholar.google.com/citations?user=lzP-Dw4AAAAJ&hl=it

Massflow 官方网站：www.massflow-software.com

当前，其他学者基于 Massflow 已发表了 150 余篇论文，完成了多篇硕士和博士论文，它山之石，可以攻玉，他们在取得丰富的成果之前，也如同您刚接触软件 Massflow 一样，会遇到困难。庆幸的是有这么多成功的案例可借鉴，蹚过的坑可以避免。因此，强烈建议各位新学者登录知网，下载相应的硕博和研究论文，加强理论和实操练习。

祝各位学习愉快，诸事顺遂，祝中国国产工程和科研软件领域蓬勃发展，祝我们的祖国繁荣昌盛！

软件介绍： Massflow软件是一款高效能地表灾害动力过程仿真软件，可模拟滑坡、泥石流、碎屑流、山洪、雪崩、堰塞湖等地质灾害及灾害链动力演化全过程，还适用于山区流域水文计算、尾矿库溃坝、流固耦合等一系列灾害问题的数值模拟工作。通过使用该软件可实时揭示地质灾害随时空演化过程，为地质灾害定量风险评估、基础设施与城镇规划布局、应急减灾与救灾策略制定提供理论与技术支持。

技术支持:

技术培训
即时在线研讨
软件更新

联系方式:

联系电话：18200364687
E-mail：2228008317@qq.com
Massflow技术讨论QQ群：436302485
Massflow官方网站：www.massflow-software.com