PeneBlast 系统用户手册

清华大学航天航空学院
计算动力学研究室

2013 年 10 月 6 日

目录

第一章 引言 **1**

第二章 前处理系统 **3**

2.1 前处理系统功能及流程概述 4

2.1.1 前处理系统功能说明 4

2.1.2 前处理系流程概述 12

2.2 新建求解任务 12

2.3 材料定义 13

2.3.1 New 14

2.3.2 Load 15

2.3.3 Modify 16

2.3.4 Review 17

2.3.5 Copy 17

2.3.6 Delete 17

2.3.7 Save 17

2.3.8 Library 20

2.4 新建组件 20

2.5 创建几何实体 22

2.5.1 Block 23

2.5.2 Cylinder 28

2.5.3 Ogive 31

2.5.4 Sphere 33

2.5.5 Polyhedron 35

2.5.6 User-Defined 37

2.6 设置前处理数据集的各项属性 39

2.6.1 WorkPlane 属性页 40

2.6.2 Grid 属性页 42

2.6.3 Contact 属性页 43

2.6.4 Detonation 属性页 45

2.6.5 Solution 属性页 46

2.6.6 Output 属性页 49

第三章 分析计算 52
3.1 建立算例文件 52
3.2 执行计算 53

第四章 后处理系统 55
4.1 开始 55
4.1.1 安装 55
4.1.2 开始 ParaView 55
4.2 用户界面 56
4.3 一个简单的例子 57
4.4 PipeLine Browser 57
4.5 Object Inspector 61
4.5.1 Properities 61
4.5.2 Display 63
4.5.3 Information 64
4.6 下拉菜单 67
4.6.1 File 菜单 67
4.6.2 Edit 菜单 68
4.6.3 View 菜单 70
4.6.4 Filters 菜单 71
4.6.5 Sources 菜单 77
4.6.6 Tools 菜单 77
4.6.7 Help 菜单 77
4.7 工具栏介绍 79
4.8 Display Area 85
4.8.1 3D View 86
4.8.2 XY Plot View 87
4.8.3 Spreadsheet View 87

第五章 PeneBlast 入门指南 91
5.1 斜侵彻算例指南 92
5.1.1 模型概述 92
5.1.2 前处理 93
5.1.3 求解计算 109
5.2 Taylorbar 算例指南 115
5.2.1 算例描述 115
5.2.2 任务定义 115
5.2.3 材料定义 115

5.2.4 组件设置 . . . 116
5.2.5 网格设置 . . . 116
5.2.6 求解设置 . . . 117
5.2.7 输出设置 . . . 117
5.2.8 检查修改输入文件 . . . 117
5.2.9 计算监测 . . . 117
5.3 二维气体爆轰算例指南 . . . 121
5.3.1 算例描述 . . . 121
5.3.2 任务定义 . . . 121
5.3.3 材料定义 . . . 121
5.3.4 组件设置 . . . 123
5.3.5 网格设置 . . . 123
5.3.6 起爆设置 . . . 123
5.3.7 求解设置 . . . 124
5.3.8 输出设置 . . . 124
5.3.9 检查修改输入文件 . . . 124
5.3.10 运行与后处理 . . . 126
5.4 破碎算例指南 . . . 127
5.4.1 算例描述 . . . 127
5.4.2 任务定义 . . . 127
5.4.3 材料定义 . . . 127
5.4.4 组件设置 . . . 127
5.4.5 网格设置 . . . 128
5.4.6 接触设置 . . . 130
5.4.7 起爆设置 . . . 130
5.4.8 求解设置 . . . 130
5.4.9 输出设置 . . . 131
5.4.10 检查修改输入文件 . . . 132
5.4.11 计算监测 . . . 133
5.5 钢弹侵彻混凝土算例指南 . . . 134
5.5.1 算例描述 . . . 134
5.5.2 任务定义 . . . 134
5.5.3 材料定义 . . . 134
5.5.4 组件设置 . . . 136
5.5.5 网格设置 . . . 137
5.5.6 接触设置 . . . 137
5.5.7 求解设置 . . . 138
5.5.8 输出设置 . . . 138
5.5.9 检查修改输入文件 . . . 138

5.5.10 计算监测 139
5.6 Gurney 飞片算例指南 140
5.6.1 算例描述 140
5.6.2 任务定义 140
5.6.3 材料定义 140
5.6.4 组件设置 141
5.6.5 网格设置 142
5.6.6 起爆设置 142
5.6.7 求解设置 143
5.6.8 输出设置 143
5.6.9 检查修改输入文件 143
5.6.10 计算监测 145
5.7 Jetting 算例指南 146
5.7.1 算例描述 146
5.7.2 任务定义 146
5.7.3 材料定义 147
5.7.4 组件设置 147
5.7.5 背景网格设置 150
5.7.6 接触设置 150
5.7.7 起爆设置 153
5.7.8 求解设置 153
5.7.9 输出设置 153
5.7.10 检查修改输入文件 154
5.7.11 计算监测 155

第一章　引言

冲击碰撞问题是一个几何、材料和边界条件均为非线性的多物理场强耦合问题，涉及高速、高压、高温、相变和化学反应，气体、液体和固体等多种物质间相互耦合甚至混合，材料不但会发生严重扭曲和破碎，还会熔化甚至汽化。拉格朗日法可以很方便地跟踪材料的界面和引入与变形历史相关的材料模型，但对于涉及特大变形的问题会因网格严重畸变而产生数值求解困难，且难以有效地模拟材料的破碎、融化和汽化等行为。欧拉法不存网格畸变问题，适合于分析特大变形及流动问题，但不易跟踪材料界面，且非线性对流项也会导致数值求解困难。

由质点网格法 (particle in cell, PIC) 发展起来的物质点法 (material point method, MPM)[?, ?] 采用拉格朗日和欧拉双重描述，将物体离散为一组在空间网格中运动的质点。质点携带了所有的物质信息，如质量、速度、应变和应力等，可很方便地跟踪材料的界面和引入与变形历史相关的材料模型。质点在空间网格中运动，运动方程在空间网格上求解，避免了网格畸变问题，适合于分析特大变形及流动问题。物质点法充分吸收了拉格朗日法和欧拉法的优点，是目前超高速碰撞和爆炸数值分析的最有前景的方法之一。

MPM3D® 是清华大学航天航空学院计算动力学研究室 (http://www.comdyn.cn) 张雄教授课题组研发的冲击爆炸三维物质点法数值仿真软件 (计算机软件著作权登记号为 2009SRBJ4761)，可用于模拟超高速碰撞、冲击、侵彻和爆炸问题。MPM3D® 自 2004 年开始用 FORTRAN 90 语言研发，为了便于进一步扩充和维护，2007 年暑期，我们用 C++ 重写了 MPM3D®，称为 MPM3DPP ，原 FORTRAN 90 版的 MPM3D® 停止开发。

PeneBlast 系统是清华大学航天航空学院计算动力学研究室开发的、以 MPM3D® 为核心求解器的冲击爆炸数值仿真系统，它基于 Qt[1]、VTK[2]、CMake[3]和 C++ 开发，具有优良的跨平台特性，可运行于 Windows、Linux、Mac OS 等操作系统。

PeneBlast 是面向任务 (Job) 的数值仿真系统。Job 具有以下属性：

1. Folder　Job 的数据文件存放路径，模型数据文件和所有输出数据文件均存放在该路径中。

2. JobName　Job 的名称，为该 Job 的唯一标示。

3. Heading　Job 的标题，主要用户标示该 Job。此属性的值将保存在模型数据文件中 Header 元素的 Heading 子元素中。

[1]Qt 是一个跨平台的 C++ 图形用户界面应用程序框架，见 http://qt.nokia.com/

[2]Visualization Toolkit (VTK) 是基于 OpenGL 的开放源码的跨平台可视化工具包，见 http://www.vtk.org/

[3]CMake 是跨平台的开源自动化建构 (build) 系统，见 http://www.cmake.org/

4. Description Job 的简要描述，如本问题的主要物理现象、参考文献等。此属性的值将保存在模型数据文件中 Header 元素的 Description 子元素中。

5. Units Job 采用的单位制。它具有三个分量, 分别定义该 Job 所采用的时间单位、长度单位和质量单位，它们分别存放在模型数据文件的 Unit 子元素的 time、length 和 mass 属性中。

6. 模型数据集 模型数据集是该 Job 的模型数据集合，包括质点数据、背景网格数据、求解及结果输出策略等所有模型数据，用户可以通过 PeneBlast 的图形界面对模型数据集的所有数据进行编辑。模型数据集以 JobName 命名，例如，名为 Rings 的 Job，其模型数据集的名称 (在 Job Browser 面板中显示的名称) 也为 Rings。

7. 模型数据文件 模型数据文件是存放 Job 所有属性的磁盘文件，用户可以通过 PeneBlast 的图形界面将 Job 的属性保存到模型数据文件中，也可以将 Job 的属性从模型数据文件中读入到 PeneBlast 系统中。因此，模型数据文件实际上是与 Job 对应的磁盘文件，它可供 MPM3D® 读取以进行仿真计算。模型数据文件以 JobName 命名。例如，名为 Rings 的 Job，其模型数据文件为 Rings.xmp，存放在由属性 Folder 指定的目录中。

模型数据文件采用标准的 XML 格式[1]，可以使用任何的 XML 编辑器或文本编辑器进行编辑。PeneBlast 内置了 QXMLEdit[2]，并对该编辑器进行了修改扩充，使其可以载入 MPM3D® 的材料库，并可调用 MPM3D® 对其当前编辑的数据文件进行计算仿真。

PeneBlast 允许创建或者载入多个 Job，这些 Job 列在 Job Browser 面板中。用户通过鼠标或者键盘可以在 Job Browser 面板中选定某个 Job，编辑此 Job 的所有属性、保存此 Job(保存到文件/Folder/JobName.xmp 中)，也可以直接编辑此 Job 的模型数据文件 (/Folder/JobName.xmp)、调用 MPM3D® 对此 Job 进行计算仿真。

PeneBlast 系统具有前处理 (Models 菜单)、仿真计算与监控 (Simulation 菜单) 两大功能，后处理采用 ParaView 完成。ParaView[3]是由美国 Kitware 公司、洛斯阿拉莫斯国家实验室、圣地亚国家实验室和 CSimSoft 公司联合研发的一种开放源代码的多平台数据分析和可视化应用程序，可对超大规模数据进行分析处理，既可运行于台式机，也可运行于并行计算平台上。

[1] http://www.w3.org/XML/
[2] http://code.google.com/p/qxmledit/
[3] http://www.paraview.org/

第二章　前处理系统

PeneBlast 系统的前处理功能主要通过菜单栏、任务列表区和数据集属性区来完成。用户可以交互式地编辑 Job 的属性和模型数据集，如建立具有规则形状的几何实体及用户自定义几何实体、设置背景网格和各类求解参数，并将 Job 的属性和模型数据集输出到模型数据文件 (扩展名为 xmp) 中，供 MPM3D® 读取以进行求解。

前处理系统界面包含五大板块，分别为菜单栏、任务列表区 (Job Browser)、数据集属性区 (Job Properties)、GUI 实时显示区和计算实时监测区。PeneBlast 前处理系统界面导览图如图2.1所示。

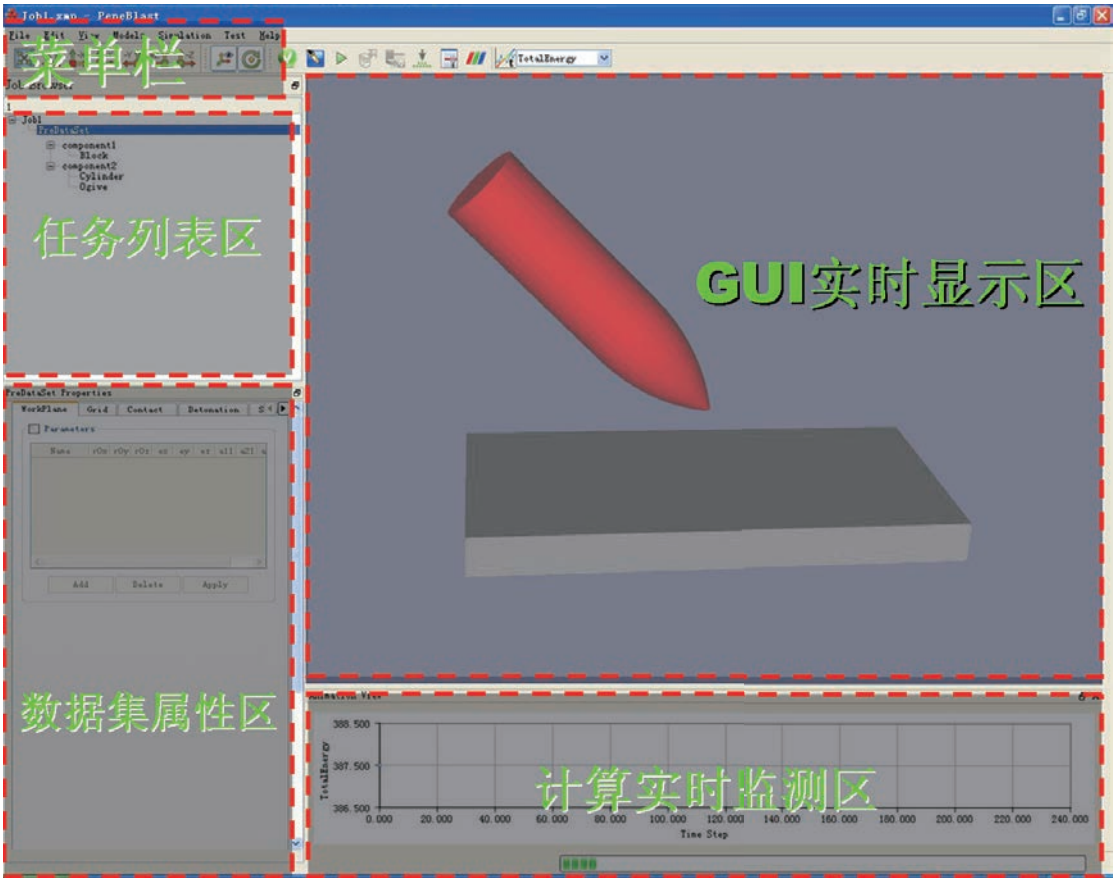


图 2.1: 前处理系统界面导览

2.1 前处理系统功能及流程概述

2.1.1 前处理系统功能说明

菜单栏中各子菜单包含了所有前处理操作按钮，用户可以通过这些菜单交互式地编辑 Job 的属性和模型数据集，完成前处理的各项设置及操作。

下面将依次介绍各个下拉菜单的功能：

File

File 子菜单（如图2.2）可以完成文件、任务相关的操作。

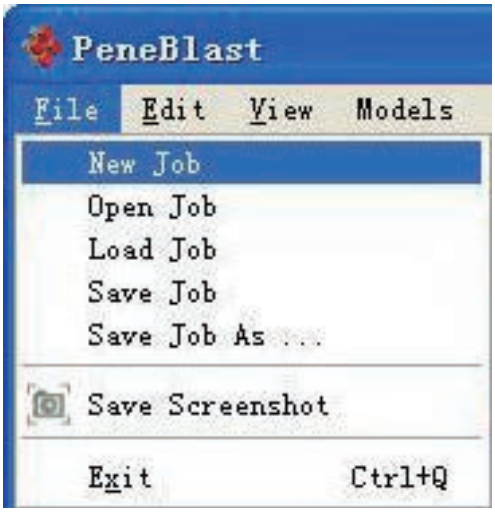


图 2.2: File 菜单

- New Job

  新建一个求解任务，同时任务列表区中将对新建任务自动编号，用户可通过点击 Job Properties 中的 Job Name 编辑框改变名称。

- Open Job

  Open Job 功能，与 Load Job 不同，该操作仅在 Job Browser 列表中增加指定 Job，PeneBlast 系统并不读入 xmp 文件的实际内容。选定该 Job 后，可以编辑其 xmp 文件、检查 xmp 文件的格式、调用 MPM3DPP 进行计算、查看日志文件等。

- Load Job

  导入任务，根据弹出文件对话框（如图3.1），导入指定路径下的某个前处理模型数据文件 (.xmp 文件)，前处理系统将载入相应参数，同时将该模型显示在 GUI 实时显示区中。该文件保存了在前处理界面中输入的所有信息，由前处理系统的”Save Job” 菜单生成，也可以由用户自己利用文本编辑器手工生成，可导入前处理界面后供用户检查模型和重新设置。

- Save Job

  把当前模型的状态保存到当前路径（Job properties 设置面板中 Folder 框中显示的路径）、指定名称（Job properties 设置面板中 JobName 框中显示的名称）的 xmp 格式的文件中。

- Save Job As

  另存任务，根据弹出的对话框（如图2.4）将当前任务以指定名称（*.mlb）保存到指定路径中。

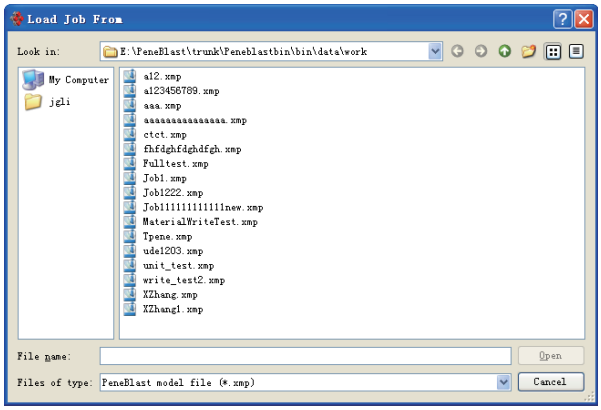


图 2.3: Load Job 对话框

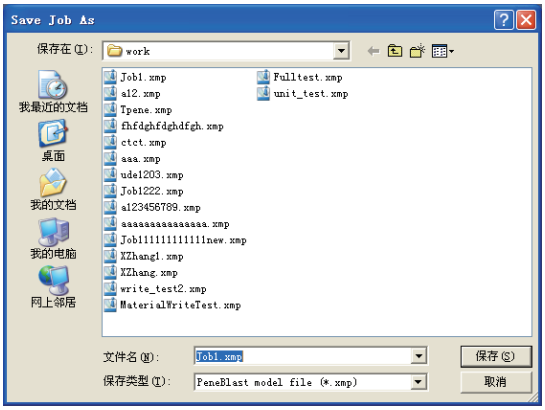


图 2.4: Save Job As 对话框

- Save Screenshot

  截图功能，根据弹出的对话框（如图2.5），将 GUI 实时显示区图像拷贝到指定路径中。

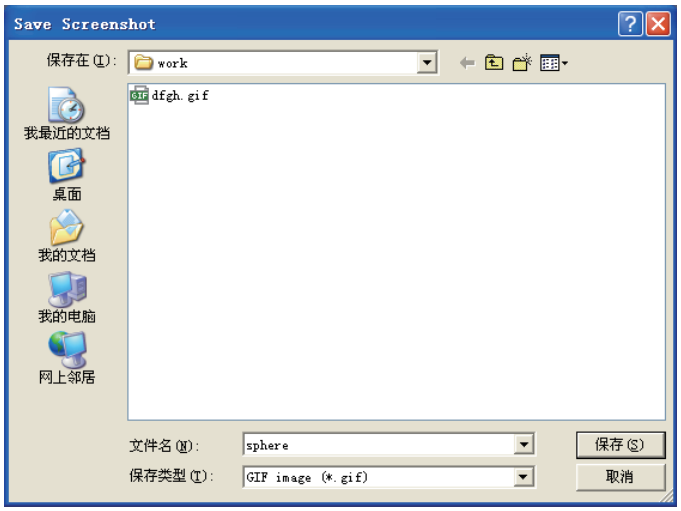


图 2.5: Save Screenshot 对话框

- Exit

  退出 PeneBlast 系统

Edit

Edit 子菜单（如图2.6）可以实现删除 Job 功能，并可进行相关设置。

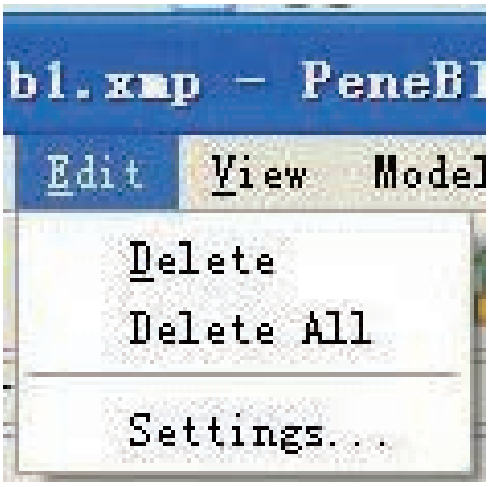


图 2.6: Edit 菜单

- Delete

  删除当前选定的 Job

- Delete All

  删除任务列表区的所有 Job

- Setting…

  设置工作路径以及文本编辑器、ParaView 可执行文件、文本比较器的路径，点击”Apply” 按钮完成设置，如图2.7。

View

View 子菜单（如图2.8）可完成对 GUI 实时显示区的各类查看操作。

- Camera

  Reset–将所有 body 居中收放至 GUI 实时显示区

  +X、-X、+Y、-Y、+Z、-Z–设定观测者视线方向为 X 轴正向、X 轴负向、Y 轴正向、Y 轴负向、Z 轴正向、Z 轴负向。

- Show Orientation Axes

  GUI 实时显示区内是否显示全局坐标架

- Show Center

  GUI 实时显示区内是否显示全局原点

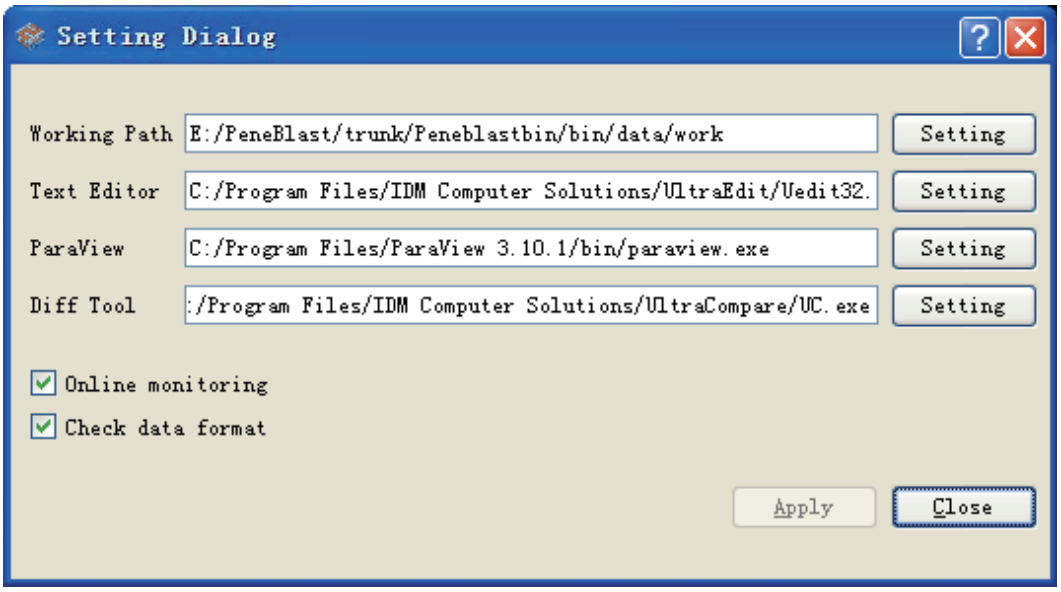


图 2.7: Setting 对话框

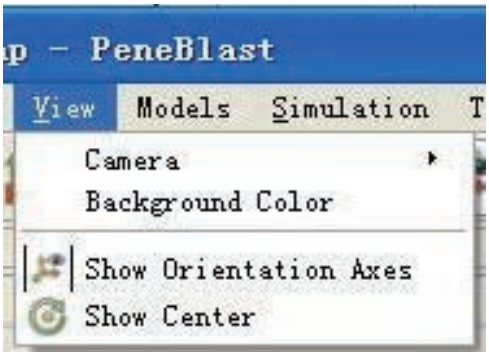


图 2.8: View 菜单

Models

Models 子菜单（如图2.9）可以完成材料定义、新建组件、新建具有规则形状的几何实体（Block、Cylinder、Ogive、Sphere）及用户自定义几何实体（User-Defined）。

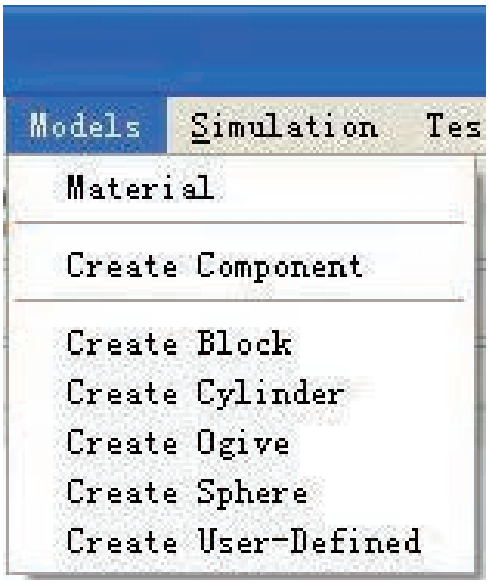


图 2.9: Models 菜单

- Material

  为当前任务定义材料，具体操作参见第2.3节。

- Create Component

  新建组件，当前任务的新建组件会自动编号，用户可通过双击任务列表区上的组件名来修改组件名称。

- Create Block

  新建 Block，具体操作参见第2.5.1节。

- Create Cylinder

  新建广义 Cylinder（规则旋转体），具体操作参见第2.5.2节。

- Create Ogive

  新建 Ogive，具体操作参见第2.5.3节。

- Create Sphere

  新建 Sphere，具体操作参见第2.5.4节。

- Create User-Defined

  新建用户导入三维实体模型（stl 格式），具体操作参见第2.5.5节。

- Create User-Defined

  新建用户自定义几何实体，具体操作参见第2.5.6节。

Simulation

Simulation 子菜单（如图2.10）可以完成对当前 xmp 文件的格式检查、编辑及开始计算等功能。

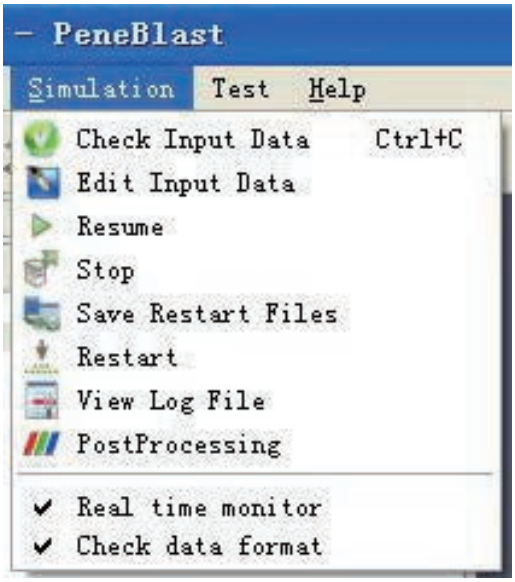


图 2.10: Simulation 菜单

- Check Input Data

  当对前任务生成的 xmp 文件进行格式检查，并给出检查结果 –格式有误则弹出对话框（如图3.2），给出具体的错误提示信息；格式无误则弹出对话框（如图3.3）提示格式检查通过。

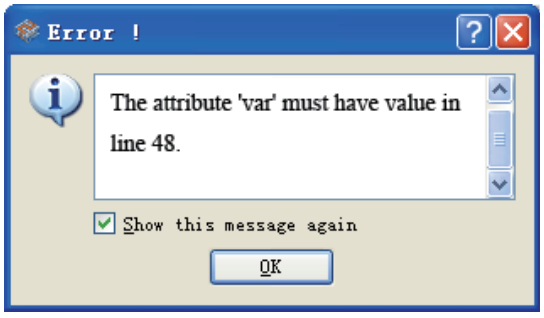


图 2.11: 错误提示信息对话框



图 2.12: 格式无误提示框

- Edit Input Data

  调用文本 PeneBlast 系统自带的编辑器 QXmlEdit 对前任务生成的 xmp 文件进行编辑、修改等操作，如图2.13。

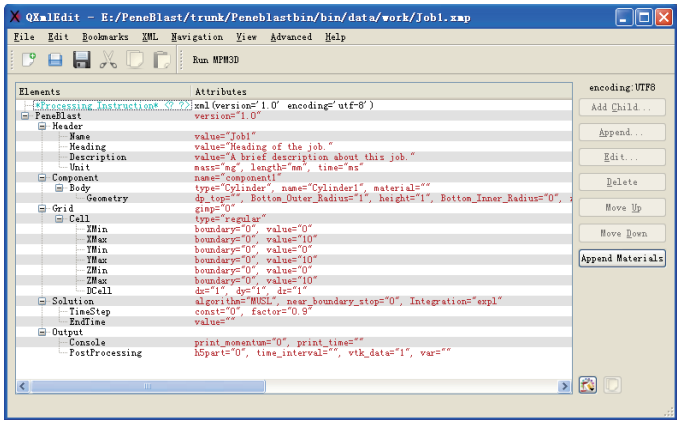


图 2.13: QXmlEdit 界面中打开当前任务文件

- Start

  调用 MPM3DPP 程序，开始计算当前任务。

- Real time monitor

  是否在 GUI 实时显示区启用对计算过程的实时显示。

Test

Test 子菜单（如图2.14）用来完成对标准算例数据库 TestDatabase 中的算例文件（xmp 格式）的计算测试功能。用户点击 Test 按钮即弹出 MPMTest 对话框（如图2.15），用户可根据需要检测指定路径下的全部或部分 xmp 文件，以观察最新的 MPM3D 计算程序的结果与标准算例数据库 TestDatabase 中的结果文件是否一致。



图 2.14: Test 菜单

界面2.15中，Test directory 指定需要检测的 xmp 文件坐在位置（路径）；Output directory 指定计算测试的结果输出路径；”Search” 按钮用来搜索 Test directory 下所有的 xmp 文件，并将他们列表显示出来；”Select” 按钮用来全部选择或全部不选列表框内的 xmp 文

件；点击”Test” 按钮开始对选定的 xmp 文件进行计算测试；点击”Stop” 按钮停止计算测试；点击”Close” 按钮退出计算测试并关闭 MPMTest 界面对话框。

其中，列表框中”Status” 给出了每个算例计算测试后的结果与标准算例数据库 Test-Database 中的结果文件的比较，若二者结果一致则显示 ，否则显示。

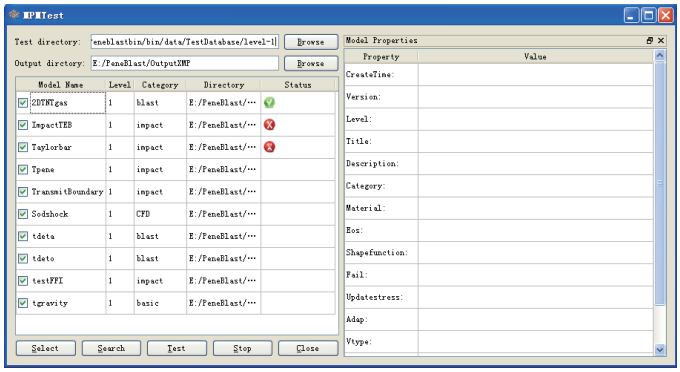


图 2.15: MPMTest 界面对话框

Help

Help 下拉菜单（如图2.16）提供了 PeneBlast 系统的相关信息以及手册供用户参考。

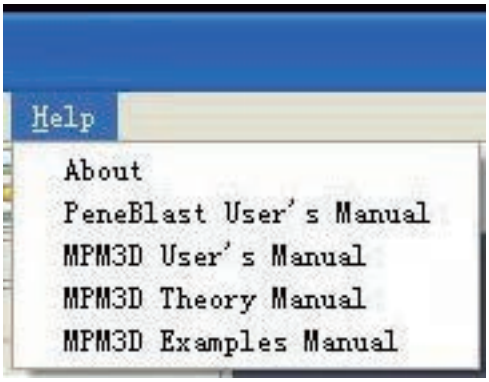


图 2.16: Help 菜单

- About

  给出 PeneBlast 系统简介、研发团队、发行日志等信息。

- PeneBlast User’s Manual

  查看 PeneBlast 用户手册

- MPM3D User’s Manual

  查看 MPM3D 用户手册

- MPM3D Theory Manual

  查看 MPM3D 理论手册

- MPM3D Example Manual

  查看 MPM3D 算例手册

2.1.2 前处理系流程概述

一个典型的前处理流程的最终任务是要生成可供物质点数值仿真程序 MPM3DPP 读入求解的数据文件 (扩展名为 xmp)，因此，前处理工作主要包含如下几个步骤：

1. 新建求解任务；
2. 定义材料——新建材料模型，或直接从已有的材料库中导入材料数据；
3. 新建前处理数据集 (PreDataSet) 中的各个组件;
4. 新建各个组件下的几何实体——新建常规几何实体（Block、Sphere、Cylinder、Ogive）并将其按指定方式离散成物质点形式；或直接从第三方 CAE 软件中导入已建好的几何体离散点信息。
5. 设置前处理数据集的各项属性——设置工作平面、背景网格信息、接触控制、定义起爆点（面）、求解选项、输出设置。
6. 保存指定 Job，输出前处理任务文件——生成供物质点数值仿真程序 MPM3DPP 读入求解的数据文件 (扩展名为 xmp)。
7. 计算运行，调用物质点数值仿真程序 MPM3DPP，开始计算新建任务 (文件扩展名为 xmp)。

2.2 新建求解任务

功能：新建求解任务，指定任务文件（*.xmp）的输出路径，求解任务的名称 JobName，对任务进行简要描述，设置该前处理集三个基本量纲（质量、长度、时间）的单位制。

新建求解任务流程如下：

1. 点击 File 菜单上的“New Job”，在任务列表区（Job Browser）即会自动创建一个 Job 及其对应的 PreDataSet；
2. 点击激活任务列表区的当前任务，在下方的 Job Properties 栏即会弹出该任务的设置面板 (如图2.17所示)；
3. 选择新建任务的存储路径“Folder”，此栏为必填项，默认存放文件夹为“安装路径/data/work”，默认路径可以通过点击“Browser”按钮更改；

4. 指定任务名称“JobName”，用户对任务默认名称的修改会在任务列表区同步显示出来。此栏为必填项，则输出的 xmp 文件的文件名为“JobName.xmp”；

5. 添加任务标题“Heading”（可列出问题的分类等属性）和任务描述“Description”（对问题进行简要描述，内容将写出到 xmp 文件的注释）；“Heading”和“Description”也可以不填。

6. 选择本任务中的所用单位制 —通过选定“Mass”“Length”“Time”三个复选框下的单位，来指定所使用的单位制。其中，质量 Mass 量纲的可选单位为 mg、g、kg，长度 Length 量纲的可选单位为 mm、cm、m，时间 Time 量纲的可选单位为 μs、ms、s；默认选取的单位制为 mg-mm-ms。

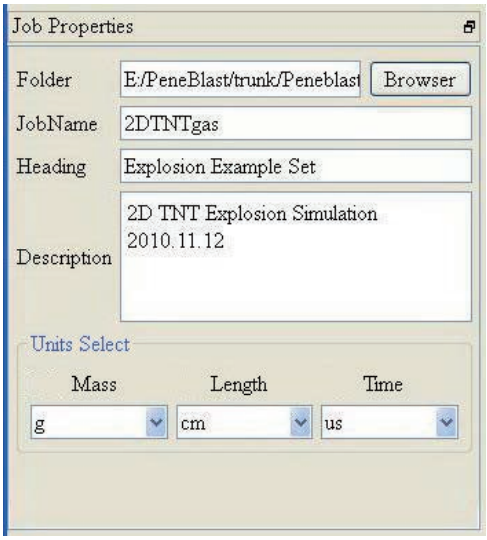


图 2.17: Job properties 设置面板

JobBrowser 面板中显示了该 Job 唯一对应的数据集及该数据集下包含的组件及几何模型。对于每一个 Job，对其名称、选用的单位制、xmp 文件名和存储路径等进行修改时，可先用鼠标选中需要修改的任务列表区上的该 Job，通过修改下方 Job Properties 栏的设置面板的对应选项，即可完成相应编辑框内参数的修改、更新。

同时，点击该 Job 对应的数据集（PreDataSet），即可在下方的前处理数据集属性区（Job Properties）中看到每个 PreDataSet 包含了 WorkPlane、Grid、Contact、Detonation、Solution 和 Output 六个属性选项卡 (如图2.18)，激活这些属性页可以分别完成工作平面定义、背景网格设置、接触控制、定义起爆点（面）、求解设置、输出选项等操作。

2.3 材料定义

PeneBlast 中有两种方式提供材料数据给当前的任务 —新建材料和载入已有材料。同时，用户可以拷贝或修改材料库中的各种材料（模型和参数值都可以修改），并将修改结果



图 2.18: 数据集属性选项卡

作为新的材料数据保存在用户指定的材料库中。每种材料均具有名称、密度、EOS 类型、强度模型、失效模型和参数来源等属性。

1. 通过新建、载入、修改、拷贝、删除、保存、查看等操作，新定义本任务中将要使用的材料模型和相应数据，并将新建材料的名称列在材料列表中。

2. PeneBlast 将常用材料数据录入、存放在一个已有的材料库 (扩展名为 mlb) 中，存储路径为“安装路径/bin”；用户可以直接从该材料库中选择使用某种材料，将其导入至当前任务，导入后的材料名称也会同步显示在材料列表中。

使用流程说明：

给当前任务定义材料时，需使用该界面上的新建 (New)、载入 (Load)、修改 (Modify)、拷贝 (Copy)、删除 (Delete)、保存 (Save)、查看 (Review)、材料库选择（Library）等按钮，执行相应的操作，完成任务中的材料定义工作。点击 Models 菜单上的“Material”，弹出 Material Definition 对话框 (图2.19)，开始新建材料。

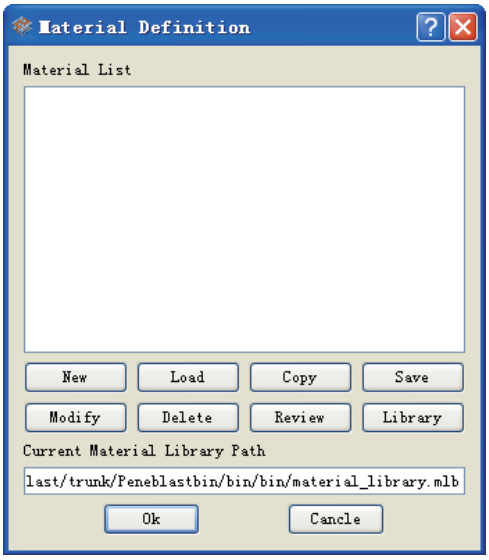


图 2.19: Material Definition 操作界面

各个功能键的作用及操作方法分别表述如下：

2.3.1 New

功能：新建材料并设置材料参数。

操作流程：点击材料定义界面上的 New ，弹出“Material Data Input”对话框 (如图2.20所示)，定义本材料的名称、密度、强度模型、状态方程、失效模型和参数来源。不同的强度模型、状态方程、失效模型有不同的参数，程序将根据所选用的模型展开不同的参数定义框。各种模型所使用的参数可参见《MPM3DPP User's Manual》。点击操作界面上的 和 按钮可以收缩/展开对应的参数框。

点击 Apply 时，系统会自动检查所有的必填选项是否均已填写。只要 Material Data Input 界面的必填参数没有填写时，点击 Apply 均会弹出错误提示框。在必填选项未填写之前，在其前面显示❗，等待用户填写；必填选项填好后按回车键确认，此时❗变成✓ 。

注：材料定义界面上，所有参数的单位均已明确给定，用户录入相应变量数值时必须精确转化成与界面上的这些单位匹配。在正常计算时，PeneBlast 系统自动将这些数值转换成与用户选定的单位制相匹配的变量值进行计算。

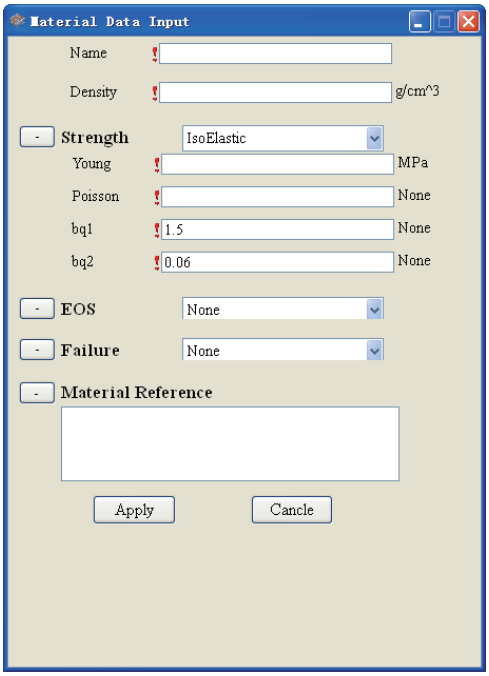


图 2.20: Material Data Input 对话框

2.3.2 Load

功能：直接从缺省（指定）的材料库导入已有材料模型及相应参数。

操作流程：点击材料定义界面上的 Load 按钮，弹出“Load Material Model”窗口（如图2.21所示），其中列出了系统自带的材料库中的各种材料的强度模型、状态方程、失效模型，该材料库文件的缺省路径为“X: 安装文件夹/Tsinghua University/PeneBlast/bin”。通过鼠标点击选定某种材料（同时高亮显示该材料），点击 Load 按钮，将即可选定的材料列入材料列表（Material List）中；可同时点击多个材料后，点击“Load”按钮即可一次载入这些材料，最终点击 Ok 按钮确认。

当需要从其他材料库文件中导入材料时，需要配合 Library 按钮方可完成，即先点

击Library，在弹出的对话框中指定了材料库数据文件的路径后，就可以从该库文件中导入材料。

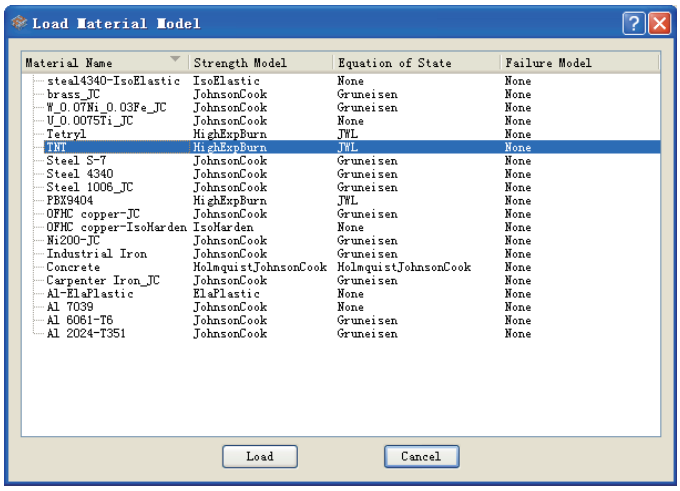


图 2.21: Load Material Model 对话框

2.3.3 Modify

功能：修改材料列表中选定的材料 (如图2.22所示) 的参数。

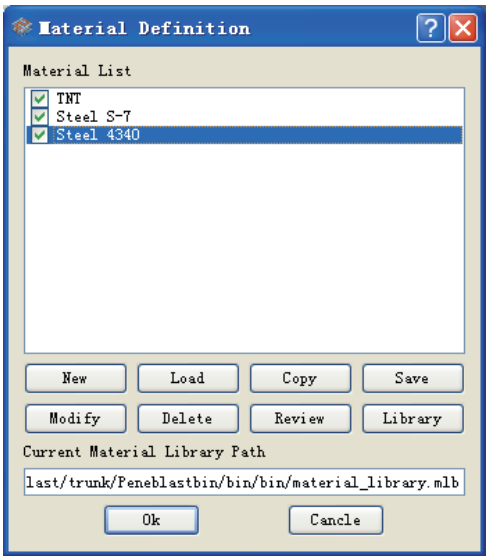


图 2.22: 选定材料列表框中某一材料

操作流程：先选定材料列表框中的某一材料 (高亮显示，如图2.22所示)，再点击Modify弹出材料参数对话框 (如图2.23所示) ，修改变量参数值，或更改材料的强度模型、状态方程、失效模型的类型，输入新的变量数值，操作完成后点击Apply保存修改，关闭对话框。

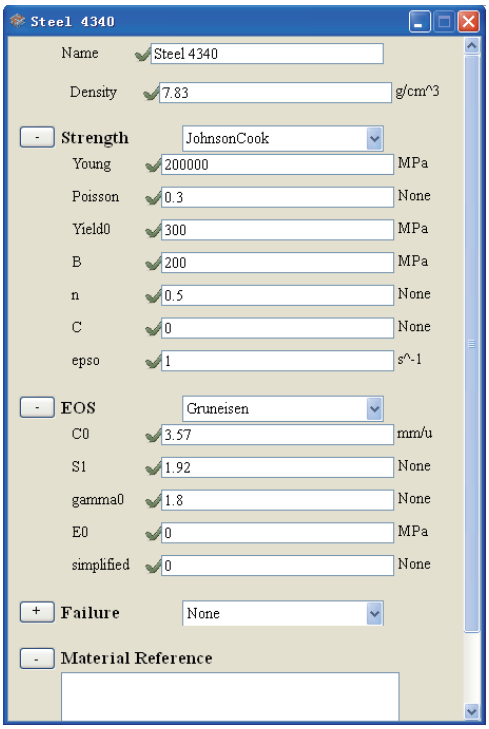


图 2.23: 修改材料数据对话框

2.3.4 Review

功能：查看选定材料的各项参数。

操作流程：先选定材料列表框中的某一材料 (高亮显示，如图2.22所示)，再点击 ，弹出材料参数对话框（如图2.24），此时所有材料参数均显示灰色，用户不能修改，点击Cancle关闭对话框。

2.3.5 Copy

功能：将材料列表中选定的材料，复制成一种新材料，新材料名为“原材料名 -new”。

流程：点击 按钮，在材料列表框中新建一种材料，新材料复制了原材料的所有类型及参数值，名称为“原材料名 -new”，如图2.25所示。

2.3.6 Delete

功能：从材料列表框中删除选定的材料。

操作流程：先选定材料列表框中的某一材料 (高亮显示，如图2.22所示)，再点击 按钮，即可完成从材料列表中删除该材料的操作。

2.3.7 Save

功能：将材料列表中选定的材料保存到指定材料库中。

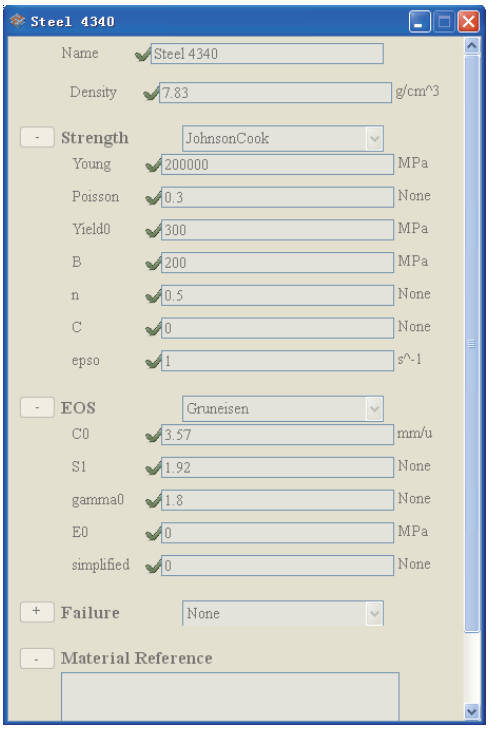


图 2.24: 查看材料数据对话框

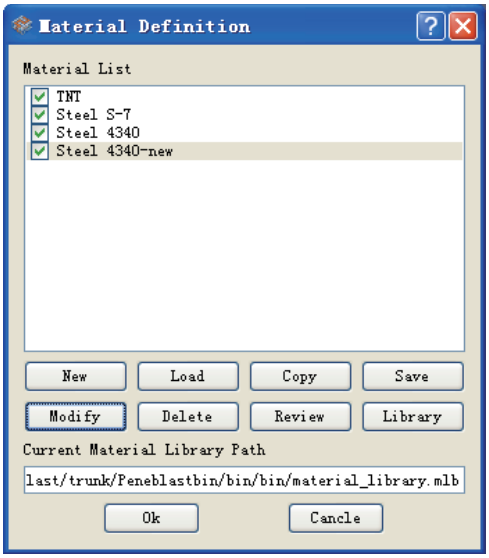


图 2.25: 复制生成新材料

流程：点击 按钮，弹出 Save Materials 对话框，如图2.26所示；选定 (可多选) 材料列表框中的某一材料 (高亮显示)，再指定材料存入的材料库（当前数据库、已存在的其他数据库和新建数据库）中，点击Apply完成后续操作后，点击Finished退出。

缺省选择将该材料信息保存到当前材料库○ Current library 中（图2.19中显示了当前材料库的路径 Current Material Library Path）；若选择存入已有材料库○ Existing library 中，则弹出文件对话框（如图2.27），选择指定路径下的材料库文件，点击“打开”按钮即可将材料存入指定材料库文件；若选择存入新的材料库○ New library 中，则弹出文件对话框，指定路径，命名新材料库名称（程序自动加入文件扩展名“mlb”），操作界面如图2.28所示，操作成功后弹出提示框（如图2.29）提示材料存入成功。

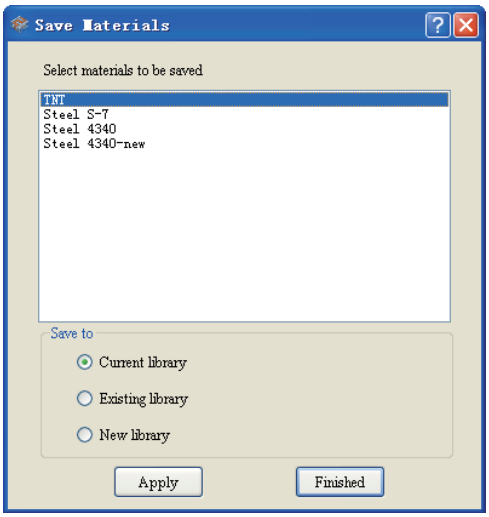


图 2.26: Save Materials 对话框

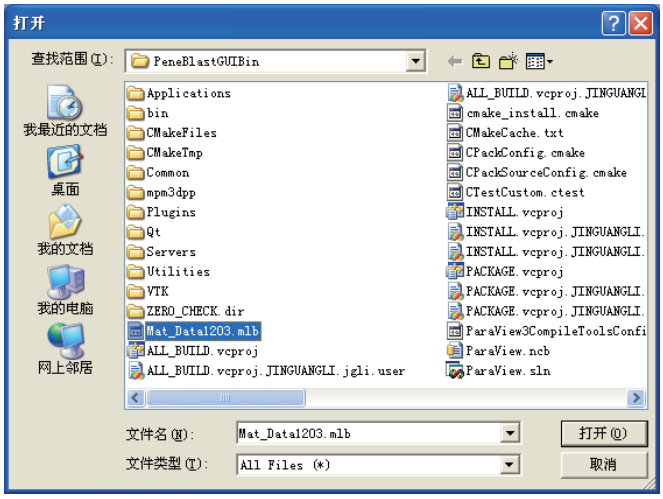


图 2.27: Select Material Library File 对话框

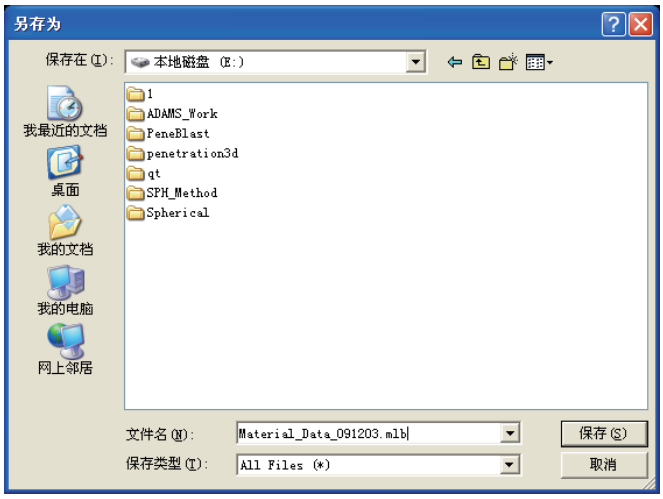


图 2.28: 材料数据存入新的数据库文件中

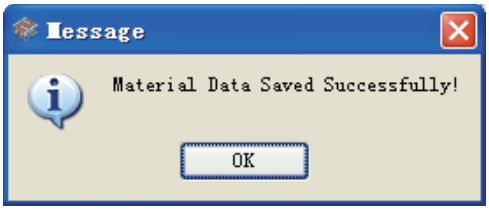


图 2.29: 材料保存操作成功消息提示框

2.3.8 Library

功能：选择当前任务需要的材料库文件，Load 操作将从 Library 指定的材料库文件中载入材料。

流程：点击 ，弹出 Select Material Library File 对话框，通过指定路径，选择当前任务需要的材料库文件，点击 Ok 选定该材料库，则 PeneBlast 系统将其设定为当前材料库，并将其路径显示在“Current Material Library Path”属性框中（如图2.30所示）。

2.4 新建组件

功能：在当前数据集下新建组件。

流程：点击激活任务列表区 Job 的 PreDataSet, 再点击菜单栏 Models 选项（见图2.9）中的“Creat Component”，即可在当前 Job 的前处理数据集下面新建一个组件 (缺省名称 component1，新建多个组件系统自动按顺序编号，用户通过双击该条目即可修改名称)，如图2.31所示。快捷操作——用户可以右键点击某个 Job 的 PreDataSet，根据右键弹出菜单即可创建一个新的组件，如图2.32。点击激活该组件，即可在 Component Properties 区域中修改该 Component 各个属性页。

前处理数据集可以包含一个或多个 Component，每个 Component 又可以包含多个 Body。

图 2.30: 通过选择路径打开指定材料库数据文件

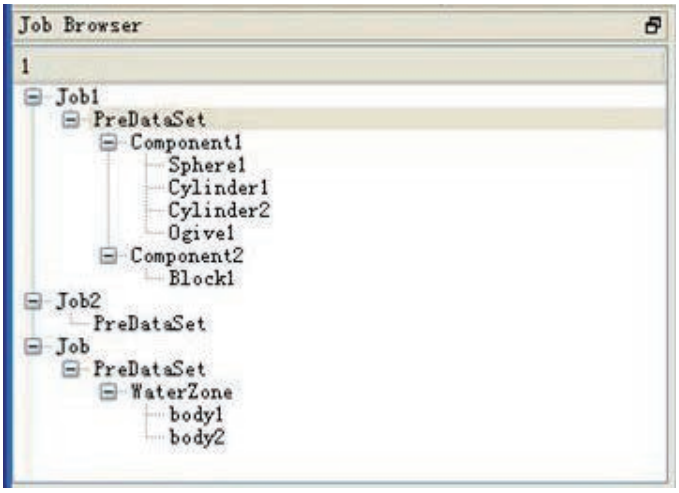


图 2.31: Job Browser——新建 Component

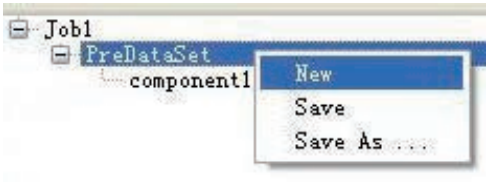
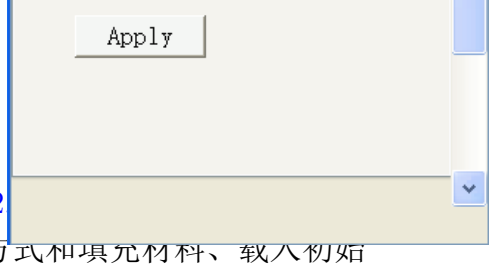


图 2.32: Job Browser—右键新建 Component



Component 在 Job Properties 区域具有三个属性页（如图2
和 Fill，分别用于显示 Component 的属性（Body 列表）、显示方式和填充材料、载入初始条件。

属性页 Properties 列表显示该 Component 中所包含的所有 Body。

属性页 Display 与 Body 的 Display 属性页大致相同，但此时可以通过“Bg color”来修改 GUI 实时显示区的背景颜色。

属性页 Fill（如图2.34）用于对该 Component 的材料进行整体填充，即将该 Component 的所有 Body 都填充某种材料，都载入某种初始速度。选择 Material、Velocity 或 Adaptive split 后，可以修改组件内所有 Body 相应的属性，最后点击Apply，则选定的属性将应用于该 Component 中的所有 Body 上。

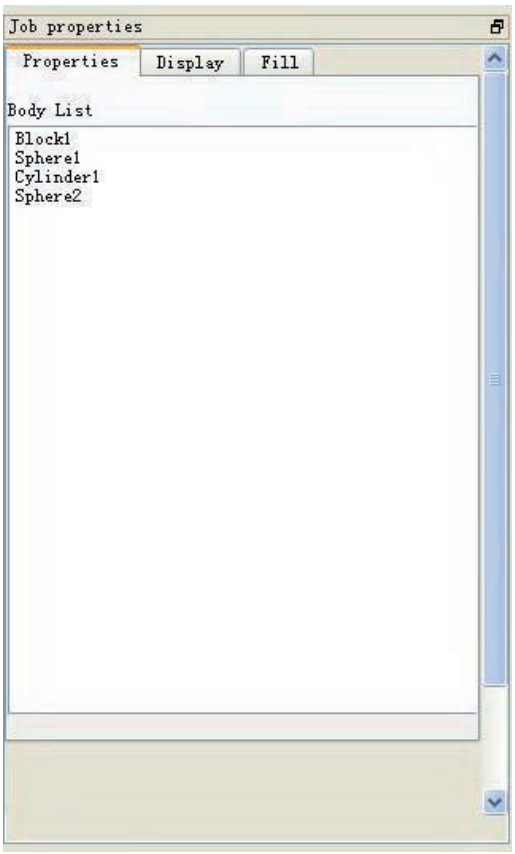


图 2.33: Component Properties 页

图 2.34: Component Fill 页

PeneBlast 的接触算法处理组件间的接触，而不是物体间的接触。组件名称指定了本物体属于哪个组件。一个组件由多个 body 组成。xmp 文件中采用组件号（从 1 开始）定义组件，输出 xmp 文件时 PeneBlast 系统自动将组件名按顺序转换为组件号。

2.5 创建几何实体

在当前组件中新建几何实体 (Block、Cylinder、Ogive、Sphere、User-Defined)，并设定其属性 (空间位置、几何尺寸、工作平面、填充材料、物体密度、初始速度、载荷设置、显

示格式、质点间距、离散方式等)，详见 MPM3D User's Manual。对于 MPM3DPP 程序中已有的 body 类型 (Block、Cylinder、Ogive、Sphere)，在 xmp 文件中输出该 body 的空间位置、几何尺寸及粒子间距等；对于 User-Defined 类型，PeneBlast 系统按照输入文件的内容将该导入的 body 离散成物质点，再按 MPM3DPP 的 Point 格式将几何体离散后的粒子信息单独写成一个文件输出。

新建的所有物体均属于当前的前处理数据集中的某个选定组件，按创建顺序列在该组件的下面。body 创建后，可以在 Job Browser 界面（图2.31），双击更改 body 名称、右键删除该 body。创建物体的界面如图2.35所示。

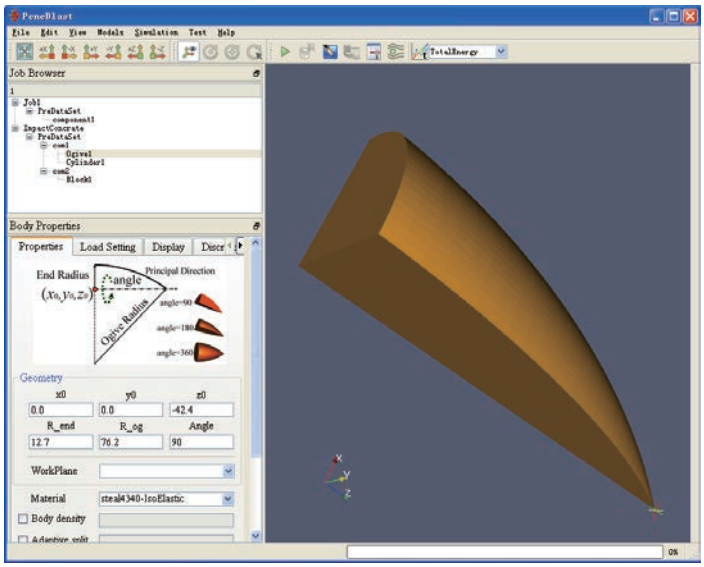


图 2.35: Peneblast 中新建几何实体界面

操作流程：在 Job Browser 中当前 PreDataSet 中选定的组件下面加入当前 Body 的名称 (用户可通过双击该条目修改名称) ，PeneBlast 系统根据 Body 的类型显示该 Body 的预览图和定义方式。对 Component 下的每一 Body（Block、Sphere、Cylinder、Ogive 等)，Job Browser 下面的 Body Properites 栏下包含了该 body 的四个属性页（Properties、Load Setting、Display、Discretization)。用户可在 Properties 属性页中定义该 Body 的尺寸及其它相关属性，直至完成该几何体的各项定义操作。

2.5.1 Block

功能：新建长方体。

Properties 页

如图2.36所示

- x0,y0,z0

  定义 Block 的空间位置。该空间坐标值相对于所载入的 WorkPlane，如果 Block 未载入任何 WorkPlane，这组空间坐标值即定义了 Block 在全局坐标系中的位置。

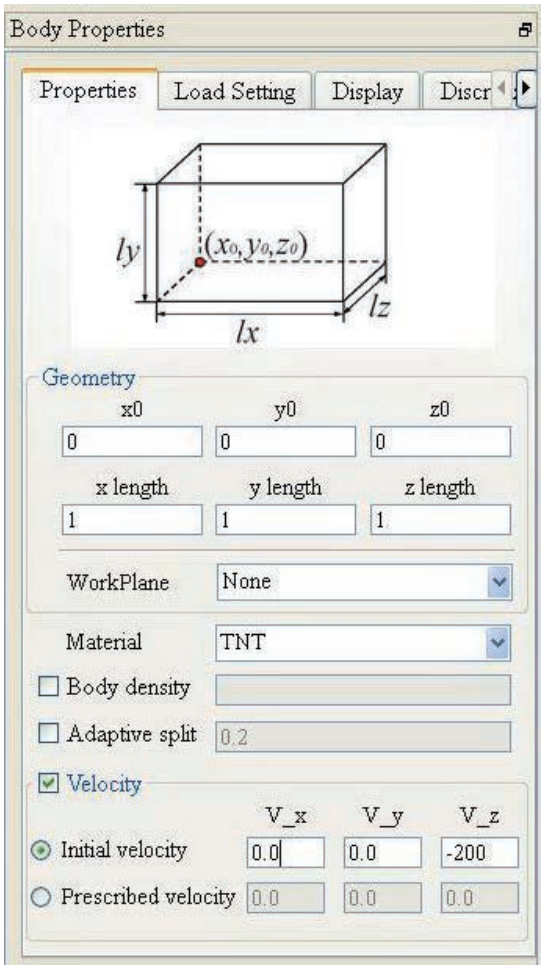


图 2.36: Block 的 Properties 页

- x length,y length,z length

  定义 Block 的几何尺寸

- WorkPlane

  定义 Body 需要载入的 WorkPlane。WorkPlane 的定义请参见第2.6.1节。

- Material

  定义 Body 填充的材料

- Body density

  定义 Body 的当前密度，此密度值若与所采用材料的密度值不一致则说明 Body 初始处于受压或者膨胀状态。

- Adaptive Split

  用来设置自适应分裂因子

- Velocity 定义 Body 的初始速度，由 Initial velocity 和 Prescribed velocity 单选框中的数值填入。

  Initial velocity 用于设置当前物体的初始速度：

  V__x: 设置物体在 x 坐标方向的速度

  V__y: 设置物体在 y 坐标方向的速度

  V__z: 设置物体在 z 坐标方向的速度

  Prescribed velocity 用于设置当前物体的常速度值，在任何时刻该物体均以指定的常速度进行运动。如果对该物体指定的常速度值为 0，则该物体相当于固定的刚体。该元素具有如下属性：

  V__x: 设定物体在 x 坐标方向的常速度

  V__y: 设定物体在 y 坐标方向的常速度

  V__z: 设定物体在 z 坐标方向的常速度

Load Setting 页

Load Setting 页（图2.37）用来设置 Body 的载荷属性

- PrescribedAcceleration

  设置时间历程的载荷，对当前 body 施加随时间变化的载荷 $f_i = A_i \times a_i$。关于 MPM3D 中时间历程载荷的进一步说明请参见 MPM3D User's Manual。

  ax: 设置物体在 x 坐标方向的加速度幅值

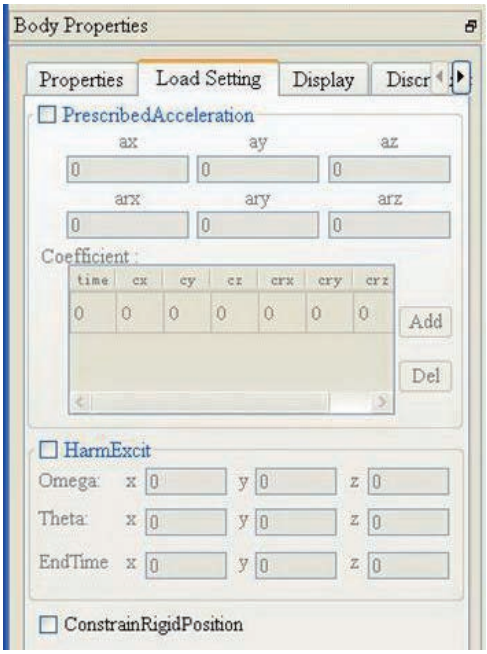


图 2.37: Block 的 Load Setting 页

ay: 设置物体在 y 坐标方向的加速度幅值

az: 设置物体在 z 坐标方向的加速度幅值

arx: 设置物体在 x 坐标方向的角加速度幅值

ary: 设置物体在 y 坐标方向的角加速度幅值

arz: 设置物体在 z 坐标方向的角加速度幅值

Coefficient: 用来定义某时刻各个加速度乘以的系数；该元素具有以下 7 个属性：

time: 设置时间；

cx: 设置 ax 的系数；

cy: 设置 ay 的系数；

cz: 设置 az 的系数；

crx: 设置 arx 的系数；

cry: 设置 ary 的系数；

crz: 设置 arz 的系数；

- HarmExcit

  设置谐激励载荷，载荷函数形式如下：

  $f = Asin(\omega t + \theta)$

并可分别控制各个方向施加载荷的频率、相位角和作用时间。该元素具有三个子元素，每个元素均具有三个属性分别是**x**、**y**、**z**。具体介绍如下：

Omega: 设置施加于**x**、**y**、**z** 三个方向上的谐激励的 ω 值；

Theta: 设置施加于**x**、**y**、**z** 三个方向上的谐激励的 θ 值；

EndTime: 设置施加于**x**、**y**、**z** 三个方向上的谐激励作用的停止时间；

- ConstrainRigidPosition

  设置刚体是否按照指定的速度和载荷运动。

  当刚体按照指定的运动规律运动时，若与其它物体碰撞则不受其影响，其它物体则受刚体影响。

Display 页

Display 页（图2.38）用来设置 Block 的显示属性

- Visible

  是否显示该物体

- Zoom to data

  按钮将该 body 以最佳尺寸缩放至 GUI 实时显示区居中显示

- Surface color

  定义物体表面的显示颜色

- Edge color

  定义物体棱边的显示颜色。

- Point color

  定义物体角点的显示颜色。

- Representation

  定义物体的渲染方式（Surface,Wireframe, Surface with edge，Points）。

- Line width

  定义 Wireframe 和 Surface with edge 中线条的宽度

- Point radius

  定义角点的显示半径

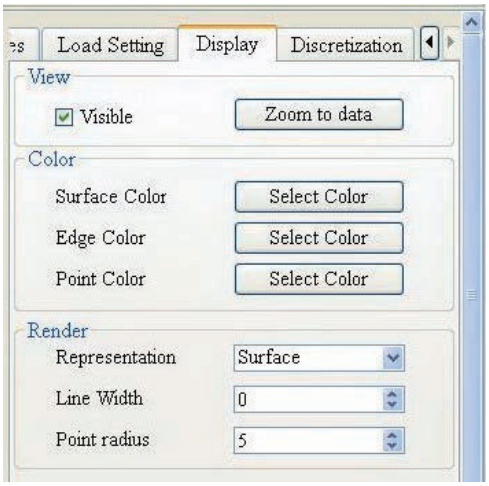


图 2.38: Block 的 Display 页

Discretizaion 页

Discretizaion 页（图2.42）定义了该 Block 的质点离散方式。

- dp

  Block 采用正交等距布点方式，因此只需要指定某方向的粒子间距 dp 即可。

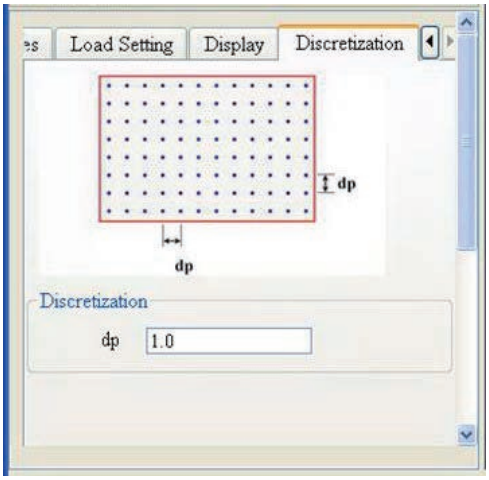


图 2.39: Block 的 Discretization 页

2.5.2 Cylinder

功能：新建常用的规则旋转体，包括圆柱、圆锥、圆台，该模型的参数示意图如图2.40所示。

Properties 页

如图2.48所示

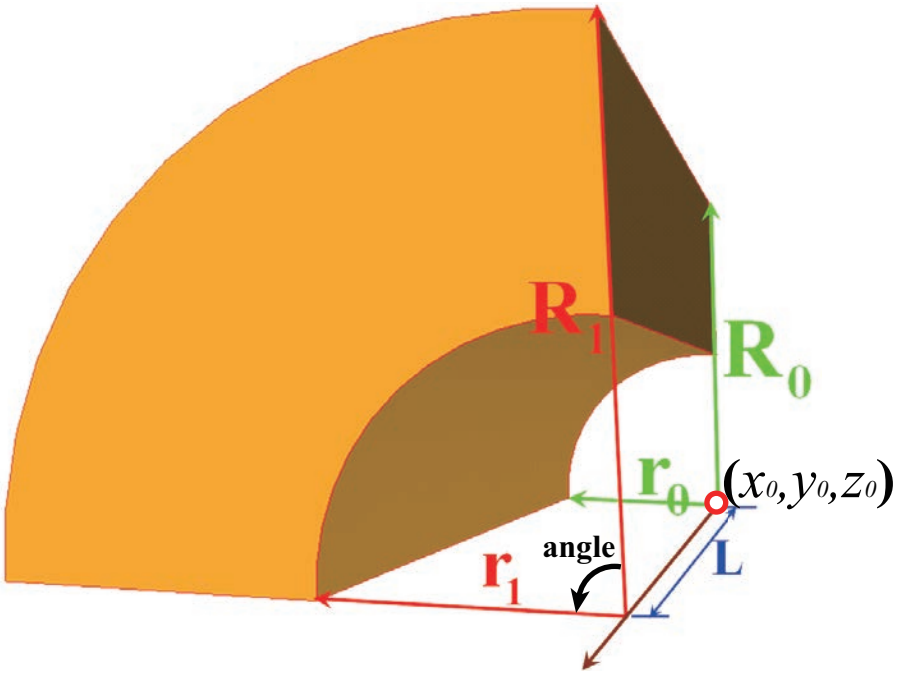


图 2.40: Cylinder 模型参数示意图

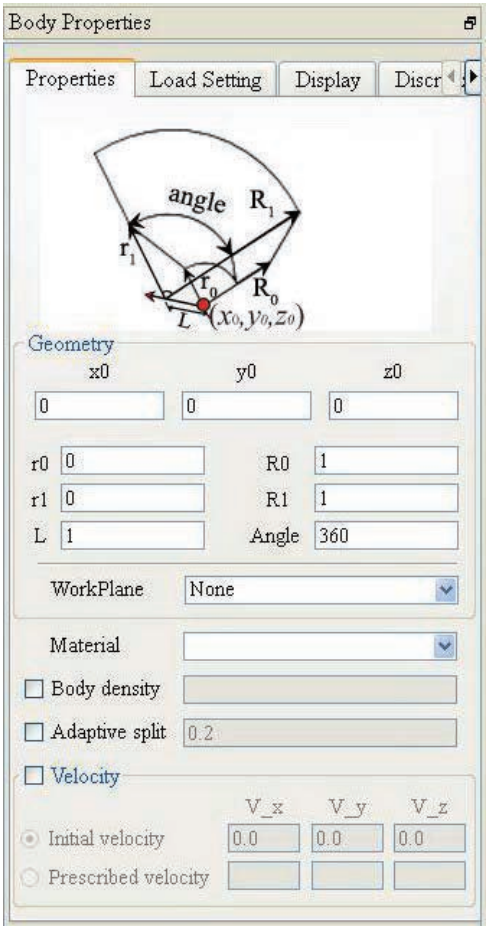


图 2.41: Cylinder 的 Properties 页

- x0,y0,z0

  定义 Cylinder 起始点的空间位置。该空间坐标值相对于所载入的 WorkPlane，如果 Cylinder 未载入任何 WorkPlane，这组空间坐标值即定义了 Cylinder 在全局坐标系中的位置。

- r0

  Cylinder 起始端面的内径

- R0

  Cylinder 起始端面的外径

- r1

  Cylinder 终了端面的内径

- R1

  Cylinder 终了端面的外径

- L

  Cylinder 的轴向长度

- Angle

  定义旋转体的张角

- Workplane、Material、Body density、Adaptive split、Velocity

  以上各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Properties 页，这里不再赘述。

Load Setting 页

Cylinder 的 Load Setting 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Load Setting 页。

Display 页

Cylinder 的 Display 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Display 页。

Discretizaion 页

Discretizaion 页（图2.42）定义了该 Cylinder 的质点离散方式。

- dp bottom

  指定 Cylinder 的起始端面的质点间距

- dp top

  指定 Cylinder 的终了端面的质点间距。

  dp bottom、dp top 确定之后，沿高度方向（Z 轴正方向）的各层粒子，其间距按等比关系逐层变化。

- dp Discretizaion

  离散方式，取值为 0 或 1：0，正交布点方式；1，环向布点方式。

  由于旋转体自身的几何特征，采用环向布点（如图2.43）方式可以更好地保持旋转体的几何形状。

  如果 Properties 页面上 Cylinder 的 Angle 属性值不是 90、180、270、360 时，PeneBlast 系统只支持环向布点。

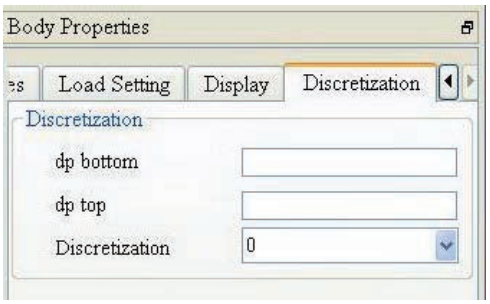


图 2.42: Cylinder 的 Discretization 页

2.5.3 Ogive

功能：新建卵形体，缺省弹头方向沿 Z 轴正方向。

Properties 页

如图2.44所示

- x0,y0,z0

  定义 Ogive 起始点的空间位置。该空间坐标值相对于所载入的 WorkPlane，如果 Cylinder 未载入任何 WorkPlane，这组空间坐标值即定义了 Cylinder 在全局坐标系中的位置。

- R_end

  卵形体的端部半径 End Radius

- R_og

  卵形体的开口半径 Ogive Radius

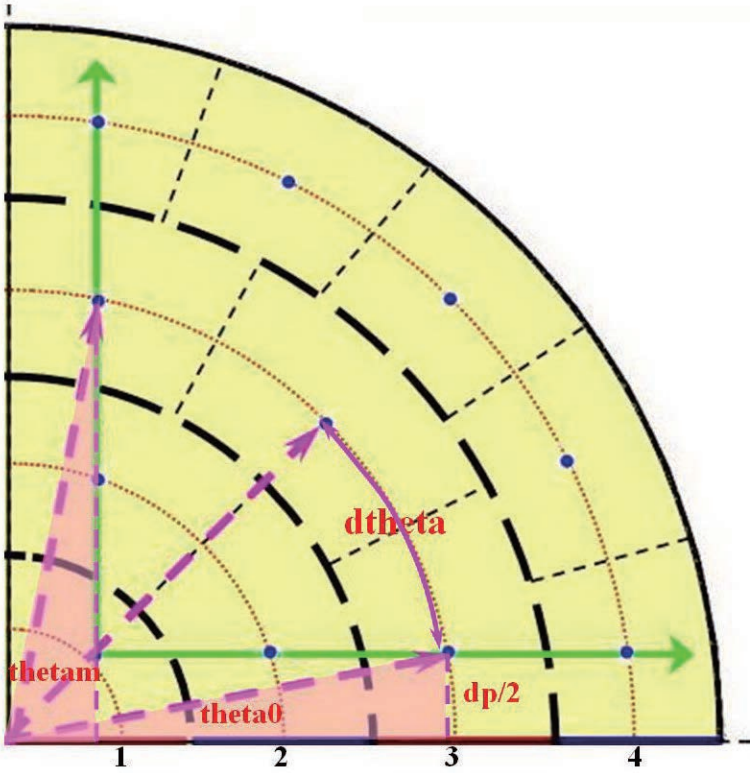


图 2.43: Cylinder 环向布点示意图

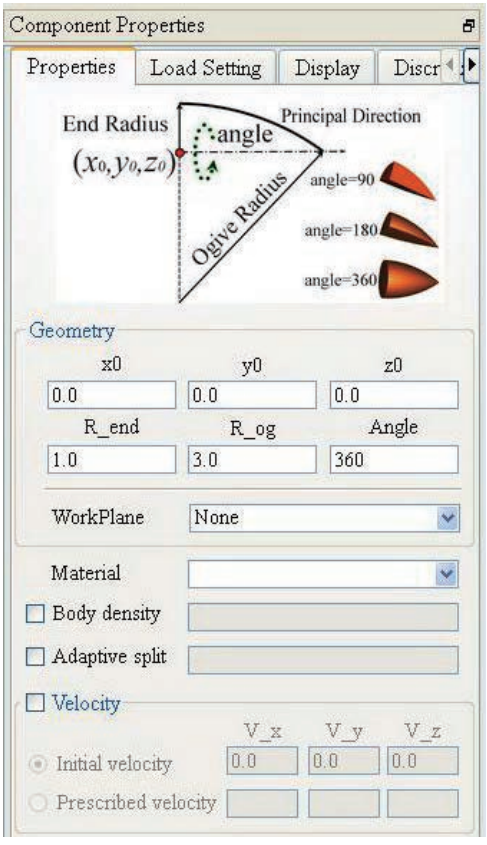


图 2.44: Ogive 的 Properties 页

- Angle

  定义新建卵形体的张角

- Workplane、Material、Body density、Adaptive split、Velocity

  以上各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Properties 页，这里不再赘述。

Load Setting 页

Ogive 的 Load Setting 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Load Setting 页。

Display 页

Ogive 的 Display 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Display 页。

Discretizaion 页

Ogive 的 Discretizaion 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.2节 Discretizaion 页。

2.5.4 Sphere

功能：新建球体。

Properties 页

如图2.45所示。

- x0,y0,z0

  定义 Sphere 球心的空间位置。该空间坐标值相对于所载入的 WorkPlane，如果 Cylinder 未载入任何 WorkPlane，这组空间坐标值即定义了 Cylinder 在全局坐标系中的位置。

- Radius outer

  圆球外径

- Radius inner

  圆球内径

- Angle

  球型旋转体两个半圆面的张角

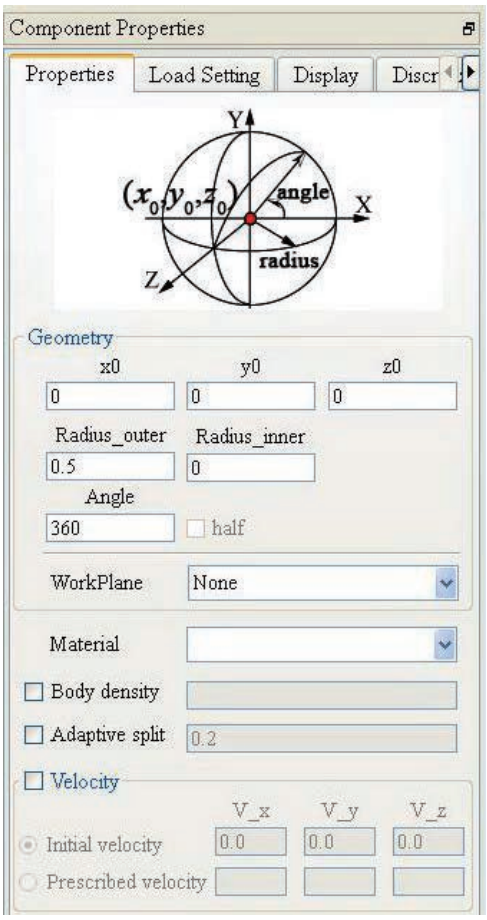


图 2.45: Sphere 的 Properties 页

- half

  只有当 Angle=90 时，该属性才会显示可用。当 Angle=90 时勾选该属性表示是否取该 1/4 球的上部分：即 half=0 时，生成一 1/4 球；当 half=1 时，取该 1/4 球的上半部分，即生成第一卦限内的 1/8 球。

- Workplane、Material、Body density、Adaptive split、Velocity

  以上各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Properties 页，这里不再赘述。

Load Setting 页

Sphere 的 Load Setting 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Load Setting 页。

Display 页

Sphere 的 Display 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Display 页。

Discretizaion 页

Discretizaion 页（如图2.46）定义了球体的质点离散方式。由于球体自身的几何特性，故可以采用的不同的方式对球体进行离散，如正交布点方式（Discretizaion=0）和环向布点方式（Discretizaion=1）。正交布点式在三个相互垂直的方向上（即沿着 x、y 和 z 轴方向）对球体进行正交离散，而环向布点方式则沿球坐标系的三个坐标轴方向对球体进行环向等距离散，这种方式可以较好地保持球形表面。

- dp

  Sphere 无论采用何种布点方式，都只需要指定一个参考的粒子间距 dp 即可。

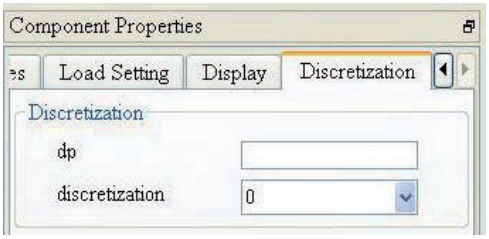


图 2.46: Sphere 的 Discretization 页

2.5.5 Polyhedron

功能：新建由.stl 文件表示的三维几何模型的实体。

Properties 页

如图2.47所示。

- x0,y0,z0

  定义多面体的空间位置。该空间坐标值相对于所载入的 WorkPlane，如果多面体未载入任何 WorkPlane，这组空间坐标值即定义了多面体在全局坐标系中的位置。

- Scale

  定义导入模型的缩放比例

- Workplane、Material、Body density、Adaptive split、Velocity

  以上各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Properties 页，这里不再赘述。

Load Setting 页

Polyhedron 的 Load Setting 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Load Setting 页。

Display 页

Polyhedron 的 Display 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Display 页。

Discretizaion 页

Discretizaion 页（如图2.48）定义了多面体的质点离散方式。由于球导入的三维几何实体往往较为复杂，无法用统一的公式进行离散点坐标计算，故这里采用几何体内部使用均匀布点而外部采用基于球填充算法的布点方案，这种方式既可以保证实体内部离散的均匀，又可以较好地保持多面体表面。

- dp global

  定义全局离散点间距的参考值，实际间距可能在此距离上下浮动

- Test Solidfill

  在保存 Job 之前点击此按钮测试离散效果（若模型几何尺寸被改变，需要重新点击此按钮进行离散，保存 Job 时不自动进行离散操作），离散数据存在按钮左方的编辑框中

2.5.6 User-Defined

通过第三方 CAE 建模软件，来构造复杂几何实体，并将其离散成有限元网格形式（目前只支持八节点六面体单元），PeneBlast 系统的 Grid2Point 工具通过导入由 CAE 建模软件生成的包含实体节点和单元信息的文件，来生成包含物质点信息的文本文件。PeneBlast 系统通过导入该包含物质点信息的文本文件来实现新建复杂形状几何体。

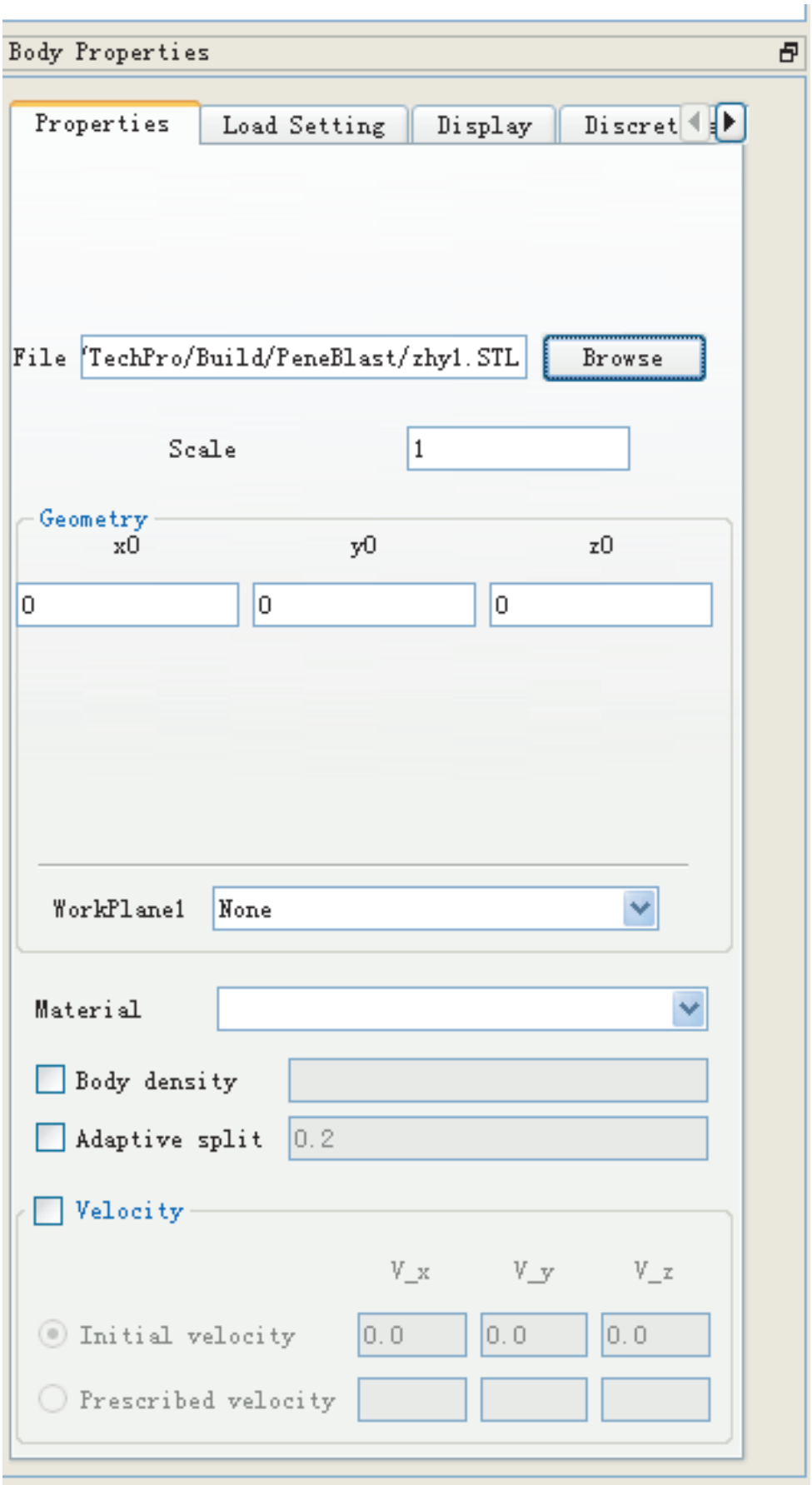


图 2.47: Sphere 的 Properties 页

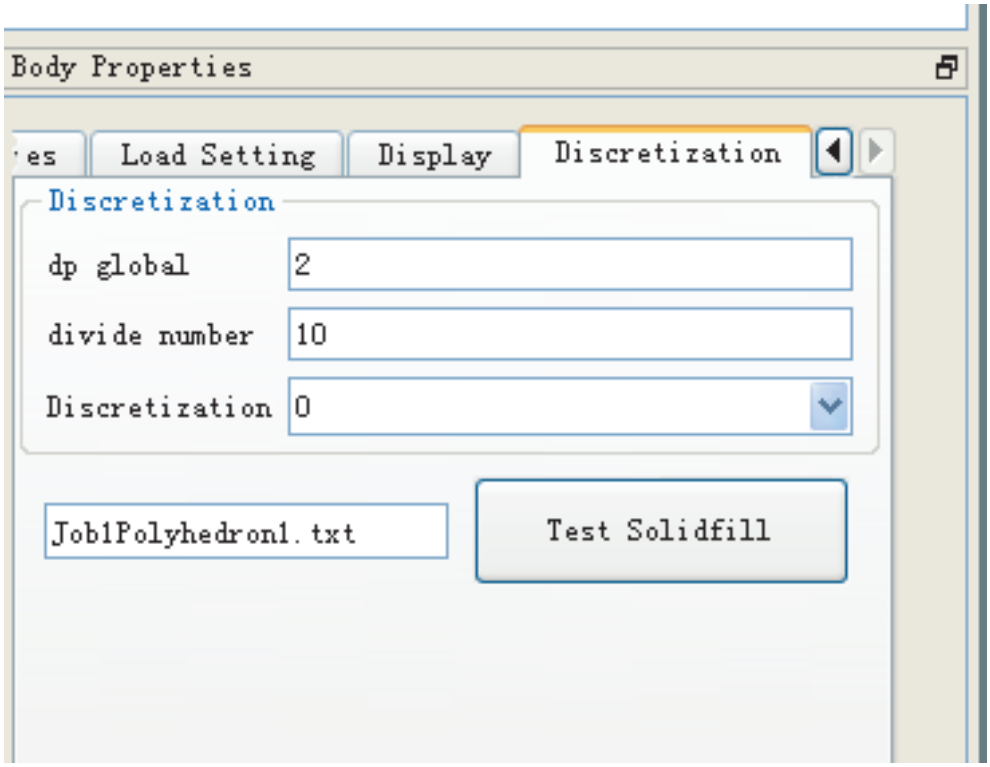


图 2.48: Sphere 的 Discretization 页

Properties 页

如图2.49所示

- File

  指定包含物质点信息的文本文件的路径。

  包含物质点信息的文本文件中列出了该实体包含的全部质点信息，第一列：物质点质量；第二至四列为物质点的空间坐标 x,y,z。格式如下：

  1.0079665e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000 0.0000000e+000

  9.3025750e-001 3.4641000e+001 2.0000000e+001 0.0000000e+000

  1.8897898e+000 1.7321000e+000 1.0000000e+000 0.0000000e+000

  .....

  5.2774400e+000 1.5385000e+001 1.7252000e+001 0.0000000e+000

- Material、Body density、Adaptive split、Velocity

  以上各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Properties 页，这里不再赘述。

Load Setting 页

User-Defined 的 Load Setting 选项卡内的各编辑框参数的意义同前述第2.5.1节 Load Setting 页。

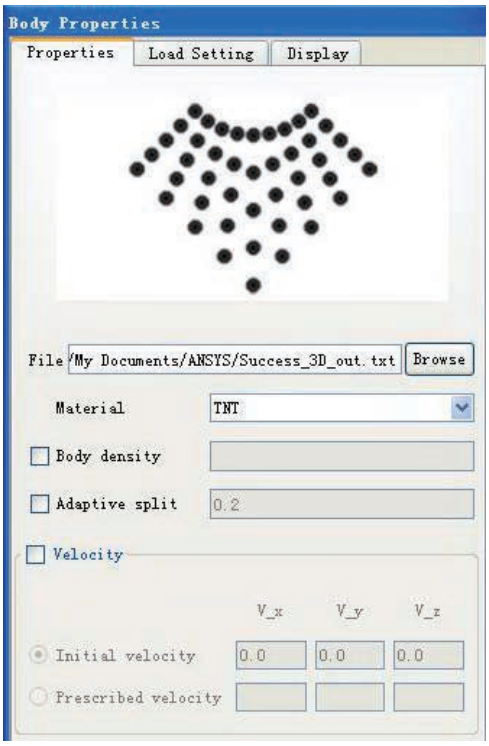


图 2.49: User Defined Entity 的 Properties 页

Display 页

User-Defined 的 Display 选项卡内的各编辑框参数的按前述第2.5.1节 Display 页说明填写。参数填写完毕后，点击Apply，GUI 实时显示区会显示出该导入实体，如图2.50所示，同时系统在该任务的 Job 存放路径下创建一个包含该离散体全部物质点几何信息的文件。

2.6 设置前处理数据集的各项属性

前处理数据集的 Job Properties 具有属性页 WorkPlane、Grid、Contact、Detonation、Solution 和 Output，用于设置局部工作平面参数、背景网格信息、接触控制、定义起爆点（面）、输出选项、求解设置。在 Job Browser 中点击列表中的某个前处理数据集，在前处理数据集属性区（PreDataSet Properties）将显示各属性页 WorkPlane、Grid、Contact、Detonation、Solution 和 Output。

2.6.1 WorkPlane 属性页

WorkPlane 属性页（如图2.51所示）供用户输入各指定参数用来定义一组局部坐标系，用户在这些局部坐标系中建立 Body 模型。在 MPM 中，物质点的坐标都是在全局坐标系下定义的，而对于加载了 WorkPlane 的 body 而言，其初始位置参数（x0，y0，z0）的参考系是局部工作平面。为了实现对各种 Body 的旋转和平移操作，需要引入工作平面将 body 的各离散物质点由局部系移动到全局坐标系中。在对局部坐标系中建立的 Body 进行离散

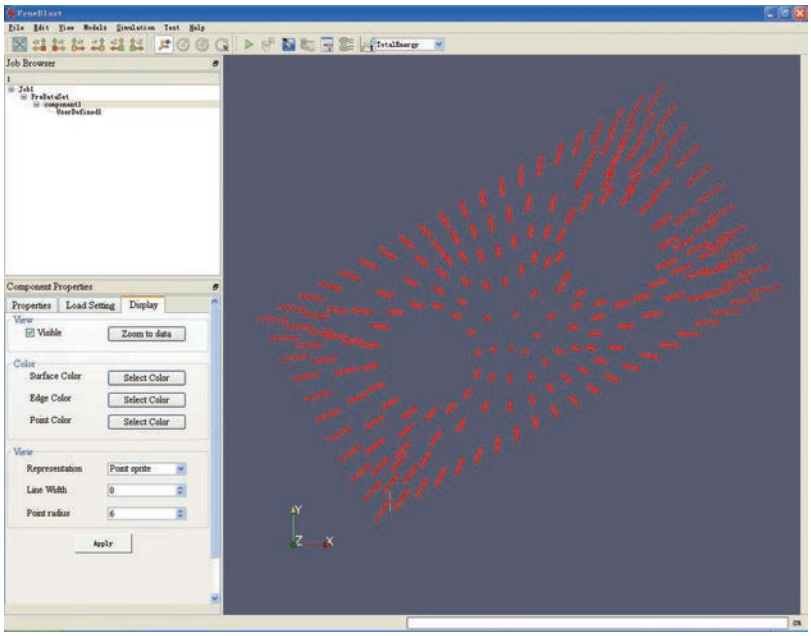


图 2.50: GUI 图形区实时显示用户自定义几何实体

时，利用局部工作平面即可用一次操作同时完成对各种 Body 的旋转和平移，将 Body 移动到空间指定的位置。对 Body 加载 WorkPlane 即可得到其物质点在全局坐标系中的位置。

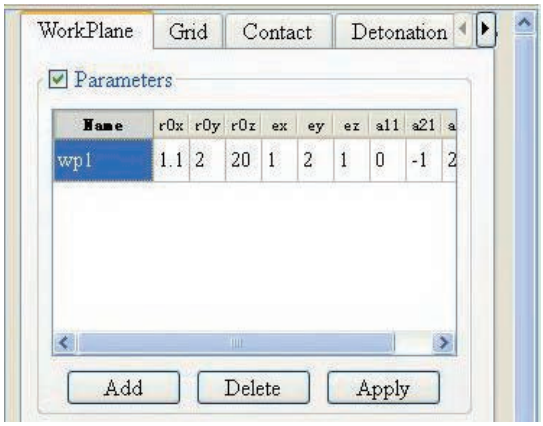


图 2.51: WorkPlane 属性页

- “Add”按钮

  新建一组工作平面

- “Delete”按钮

  删除当前激活的一组工作平面

- “Apply”按钮

  保存当前 WorkPlane 列表中的所有参数

每个工作平面包含了如下四组信息：

- Name

  WorkPlane 的名称，每新建一个新的工作平面，缺省名称将会自动编号，用户可通过双击缺省名称的编辑框，修改成新的名称。

- r_{0x}, r_{0y}, r_{0z}

  局部坐标系（WorkPlane）原点相对于全局坐标系原点的偏移量

- e_x，e_y，e_z

  局部坐标系（WorkPlane）的 Z 轴矢量在全局系的方向矢量

- a_{11}，a_{21}，a_{31}

  局部坐标系（WorkPlane）的 X 轴矢量在全局系的方向矢量。

注意事项：

(1) 矢量（e_x，e_y，e_z）和（a_{11}，a_{21}，a_{31}）分别用来指定局部坐标系的 Z 轴（主方向）和 X 轴在全局系下的方量，不要求一定为单位矢量（即不要求 $\sqrt{e_x^2+e_y^2+e_z^2}=1$ 和 $\sqrt{a_{11}^2+a_{21}^2+a_{31}^2}=1$），但必须保证这两个方向矢量正交，即 $e_xa_{11}+e_ya_{21}+e_za_{31}=0$ 必须严格满足。如果 body 加载了这种非法工作平面，将会弹出错误提示框如图2.52所示。

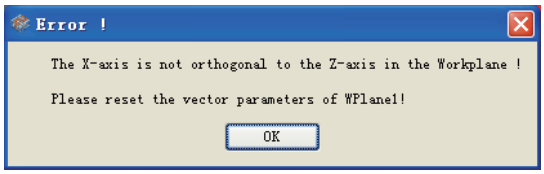


图 2.52: WorkPlane 错误提示框

(2) 局部坐标系的 Y 轴方向是通过向量（e_x，e_y，e_z）叉乘向量（a_{11}，a_{21}，a_{31}）自动得到的，故 WorkPlane 的坐标架仍然保持为右手系。

2.6.2 Grid 属性页

Grid 属性页（图2.53）用于设置背景网格参数，主要包含网格基本参数、移动网格和动态网格的设置等。

- x0, x1, y0, y1, z0, z1

  定义求解问题的背景网格区域范围

- Boundary Type

  设置该边界面的边界条件，可设为（Free/Fixed/Symmetric/Transmit/Rigid Plane），分别对应（0/1/2/3/4）：

  boundary=“0”-自由边界面；

  boundary=“1”-固定边界面，约束边界结点的所有自由度；

  boundary=“2”-对称边界面，约束边界结点的法向运动，另外两个方向自由；

  boundary=“3”-透射边界面，即采用无反射边界条件；

  boundary=“4”-刚性面，边界结点在法向上不能穿透边界，其余方向自由。

- dcx, dcy, dcz

  x、y、z 三个方向上的初始网格间距

- Mass cutoff

  设置最小结点质量截断系数 c ，缺省值为系统所能表示的最小误差 DBL_EPSILON 或 FLT_EPSILON。（见《MPM3DPP User's Manual》）；

- GIMP

  是否采用 GIMP 算法

- Consider Failure Particle

  设置在统计质点所处区域时是否计入失效粒子。若勾选则表示计入失效粒子，不勾选表示不计入失效粒子。缺省为不计入失效粒子。

- Time step factor

  设置移动网格间隔步数因子 $factor$。考虑到每步都判断是否移动网格要耗费较多时间，所以通过计算预测在多少步之后再移动网格。程序将计算出的间隔步数乘以 $factor \times dtscale$ 所得值作为程序中真正使用的间隔步数。$factor$ 缺省值为 0.8。

- XMin

  设置移动网格的 x 向最小移动边界

- XMax

  设置移动网格的 x 向最大移动边界

- YMin

  设置移动网格的 y 向最小移动边界

- YMax

  设置移动网格的 y 向最大移动边界

- ZMin

  设置移动网格的 z 向最小移动边界

- ZMax

  设置移动网格的 z 向最大移动边界

- Clear cell step

  设置清除原有网格和结点实例的时间步数。每间隔一定的时间步就清除原有的网格和节点的实例，使用时再重新生成，以便节省内存。缺省的时间步间隔为 10，若该值设为小于等于 0，则表示永不清除。仅当已勾选 Dynamic cell 时才能生效。

2.6.3 Contact 属性页

- Contact on

  是否启用接触，只有勾选 Contact on 时下面的选项才可用（如图2.54），若组件数为 1 则不启用接触算法。

- Failure to component

  是否启用粒子失效后作为独立组件的功能，缺省为不启用。在启用后，失效粒子作为单独组件和其他组件的关系用接触算法计算。

- Exclude components

  设置在计算接触面法向时是否排除存在失效质点的组件。勾选表示在计算接触法向时不考虑存在失效质点组件，除非相接触的两个组件都有失效粒子。缺省关闭此功能。

- AutoCompute component weight

  是否自动计算各组件接触面法向计算权值。勾选时表示自动设置各个组件接触面法向方向的权值，不勾选表示不自动设置，缺省不勾选。该方法根据弹性模量来确定权值，对于 Mooney Rivlin 材料，权值为最大，对于其它没有弹性模量的材料则设置为 −32767，对于失效组件（0 号组件）会自动设置为 −32768。

- Distance type

  设置计算最小接触间距系数的方法。distance_type=“0”表示不计算，distance_type=“1”表示计算两物体最近的质点间距，distance_type=“2”表示计算两物体表面的间距。distance_type=“2”由于考虑到了质点的体积，所以比 distance_type=“1”的计算量略大。

- Min distance

  设置最小接触间距系数 *dist*。在物质点的标准接触算法中，当两个物体对同一个背景网格结点的质量和动量有贡献时，即认为两个物体发生了接触，但此时两物体间的距

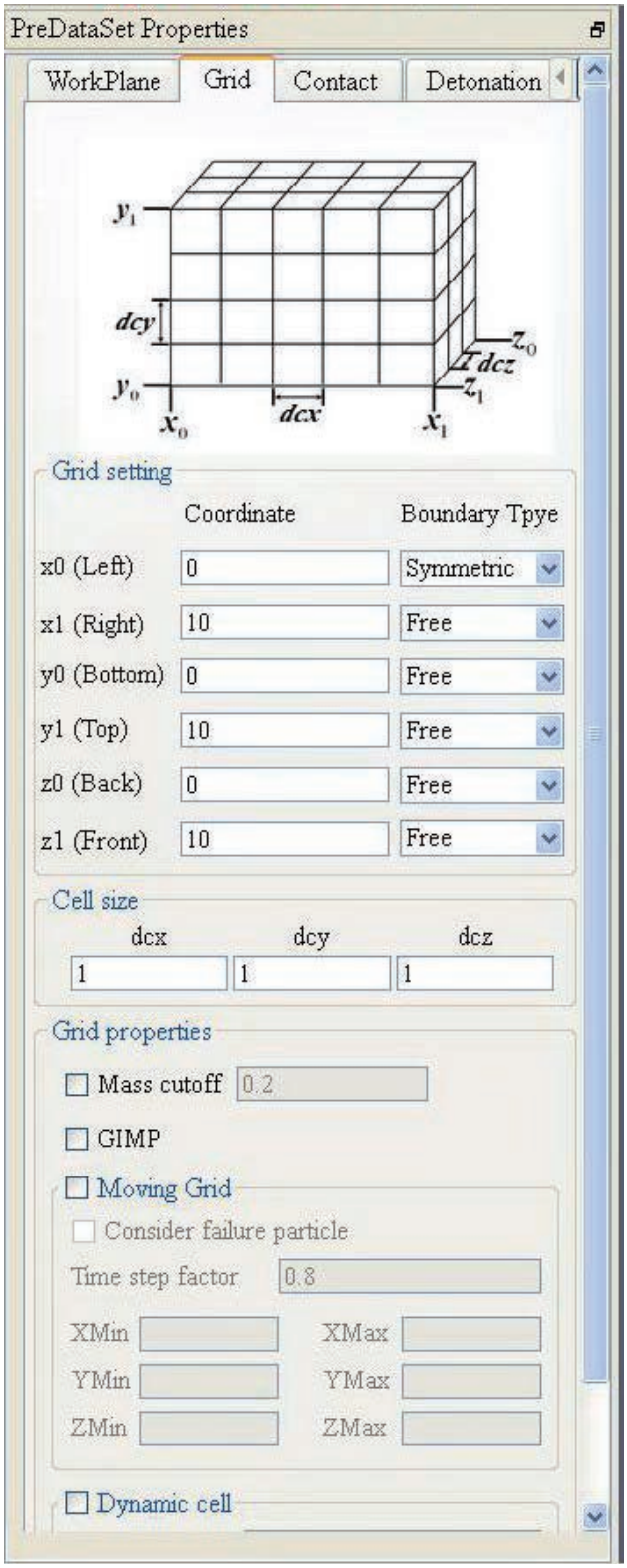


图 2.53: Grid Definition

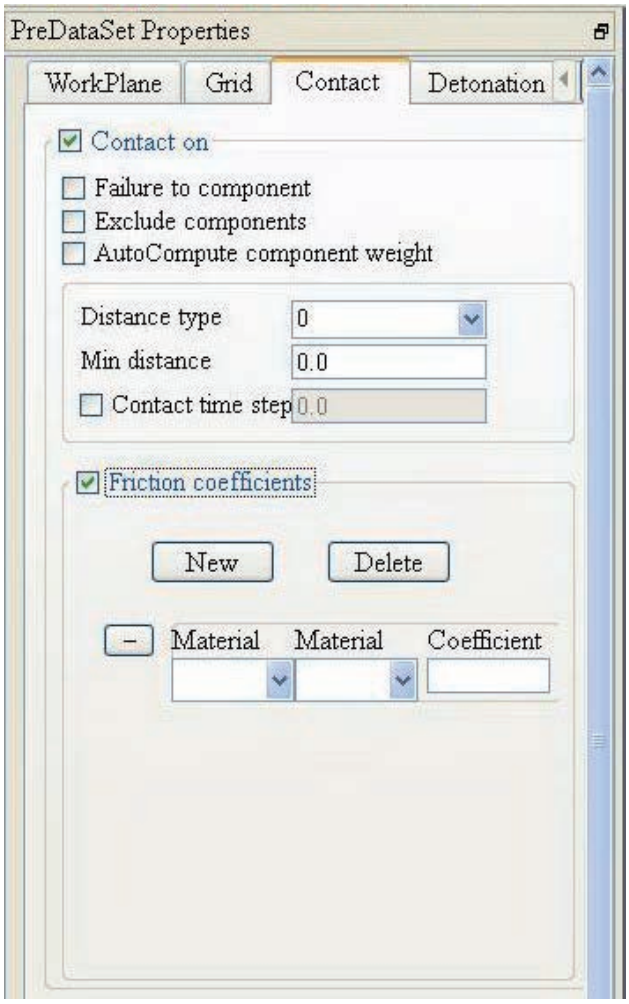


图 2.54: Contact Option

离并不为零，而是小于网格单元尺寸的 2 倍。为了克服这一缺陷，可通过设置最小接触间距系数 *dist* 来判断是否发生接触。当两个物体对同一个背景网格节点的质量和动量有贡献且他们之间的距离小于 *dist* 乘以网格单元尺寸时，才认为两物体发生了接触，否则没有接触。min_distance 的缺省值为 0.0，不进行接触间距判断。

- Contact time step

  是否根据接触算法修正显式积分的时间步长。勾选表示根据接触算法对显式积分时间步长进行修正。缺省值不修正。接触算法将较显著地影响显式积分的临界时间步长，建议启用此选项。

- Friction coefficients

  定义材料间的摩擦系数

  “New”按钮：定义一组两种材料之间的摩擦系数。两个“Material”框下分别选定两种材料，“Coefficient”输入这两种材料之间摩擦系数。

  “Delete”按钮：删除当前激活的这一组摩擦系数。

2.6.4 Detonation 属性页

定义炸药的起爆点/面，并设定其点火时间（如图2.55）。点击“+”和“-”可以展开和收缩起爆点/面数据，同时将该条目高亮度显示。

- “Add”按钮

  新建一个起爆点/面

- “Delete”按钮

  删除当前激活的一个起爆点/面

- “Apply”按钮

  保存当前 Detonation Points/Plans List 中的所有参数

- Type

  设置起爆点/面的类型。type=“point”表示定义起爆点，type=“plane”表示定义起爆面。

- Detonation Time

  定义该起爆点/面的点火时间

- Detonation point

  若 type=“point”，则需要设置以下属性：

  x,y,z：用来设置起爆点在全局坐标系中的位置。

- Detonation plane

  若 type=“plane”，则需要设置如下属性：

  Direction：设置起爆面的法线，取值为 0、1、2，分别对应于 x、y 和 z 轴；

  Location：设置起爆面在与其法线平行的坐标轴上的位置；

  Left：设置起爆面左侧坐标值；

  Right：设置起爆面右侧坐标值；

  Bottom：设置起爆面底部坐标值；

  Top：设置起爆面上部坐标值。

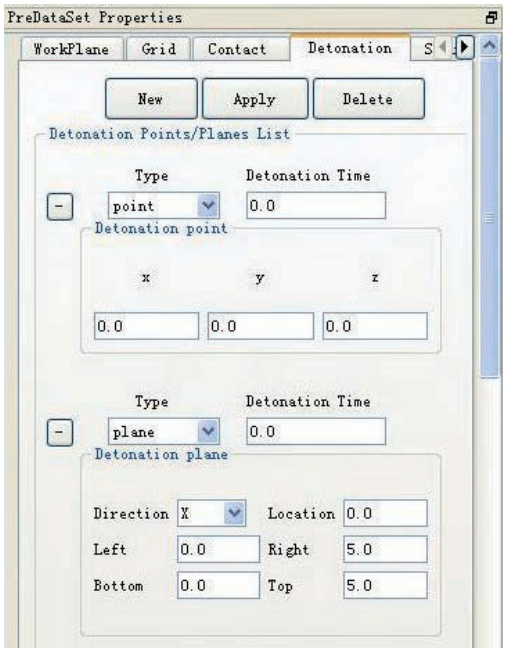


图 2.55: Detonation Option

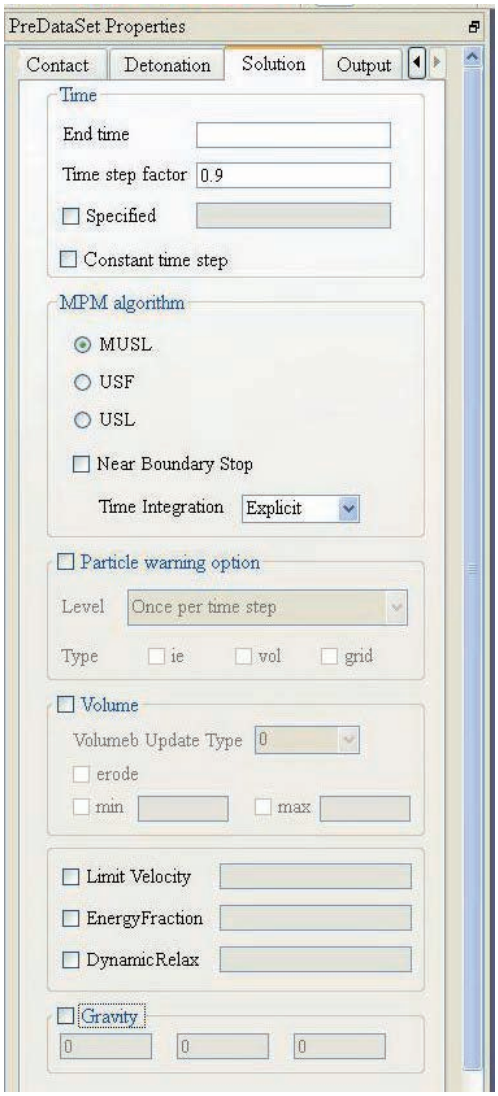


图 2.56: Solution Option

2.6.5 Solution 属性页

Solution 属性页（如图2.56）主要进行有关求解的相关设置，诸如物理模拟时间、时间步长因子、体积更新方式等。

- EndTime

  设置物理模拟时间

- Time step factor

  设置时间步长因子，缺省值取为 0.9。

- Specified

  指定具体的时间步长并以此作为程序计算时的固定时间步长，便于程序测试比较时使用，缺省不使用。

- Constant time step

  是否采用固定的时间步长

- MPM algorithm

  该复选框用来设置计算过程中所用求解格式的相关选项：

  MUSL、USF、USL：这三个单选框用来选择算法格式，缺省使用“MUSL”格式。

  Near Boundary Stop：设置当粒子接近边界时是否保存重启动文件并退出，缺省禁用此功能。主要在需要使用状态文件进行重启动计算情况下考虑使用。

  Time Integration：指定程序采用的积分方案。选择“Explicit”表示采用显式积分，选择“Implicit”表示采用隐式积分。缺省采用显式积分。目前隐式积分求解器未完成，暂不可使用。

- Paticle warning option

  在程序计算过程中，由于个别质点出现非物理现象诸如负内能、负体积，程序应该终止计算。但是据以往的计算经验，个别质点的非物理现场并不会影响整体的计算精度，因此对这类计算现象采用先输出警告信息，并根据对具体情况采取相应的措施。

  Level：设置警告等级，可供选择的选项有：“Once per timestep”、“All warning messeages”、“Stop when warning”，分别对应的取值范围为 0、1、2，缺省值为 0。

  Once per timestep（level=“0”）：每个时间步输出一次警告信息；

  All warning messeages（level=“1”）：质点变量一旦满足警告阈值，则发出警告；

  Stop when warning（level=“2”）：质点变量一旦满足警告阈值，则报错并终止程序运行。

  Type：设置监控的物理量，type 可以为“ie”、“vol”或“grid”，分别控制输出负内能警告信息、负体积警告信息和质点飞出网格区域警告信息。

- Volume

  Volume Update Type：设置更新质点体积的方式，可取 0 ∼ 4，缺省值为”0”。

  erode：设置侵蚀体积判据，如果粒子体积小于 erode 时将其侵蚀 (即删除);

  min：设置质点最小体积修正因子，修正方式为将质点体积限制在一定范围内，缺省为不修正；

  max：设置质点最大体积修正因子，修正方式为将质点体积限制在一定范围内，缺省为不修正。

- Limit Velocity

  设置质点最大速度限制值。

  在计算过程中，个别质点可能会出现异常，其速度过大，进而大大地降低了时间步长。此时可以勾选此选项限制质点的最大速度。

- Energy Fraction

  设置能量分数，当总能量的误差超过这一分数时，程序将报错并终止计算。缺省为不启动这一控制选项。

  在程序计算过程中，如果没有质点飞出网格情况下，总能量应该保证不变即守恒。但计算过程中，由于数值耗散或者计算误差，总能量会产生变化。若由于计算错误，当总能量的变化量与总能量之比超过一定分数后，程序计算结果不可信，此时可终止计算。

- Dynamic Relax

  设置粘性阻尼系数

  该阻尼是通过计算节点外力时引入与各物质点速度大小成正比方向相反的项来实现，当然也可以直接利用节点的速度来引入。目前该项设置是在所有 body 上统一施加。

- Gravity

  设定重力加速度在三个方向上的分量，缺省不打开。重力加速度的单位取决于当前任务所选的单位制，因此实际数值需要用户手工转换。

2.6.6 Output 属性页

Output 属性页（如图2.57）用于设置有关结果输出的选项，如控制台监测输出时间间隔、后处理文件类型、后处理观察的物理量等。

- Console output

  设置控制台的相关选项

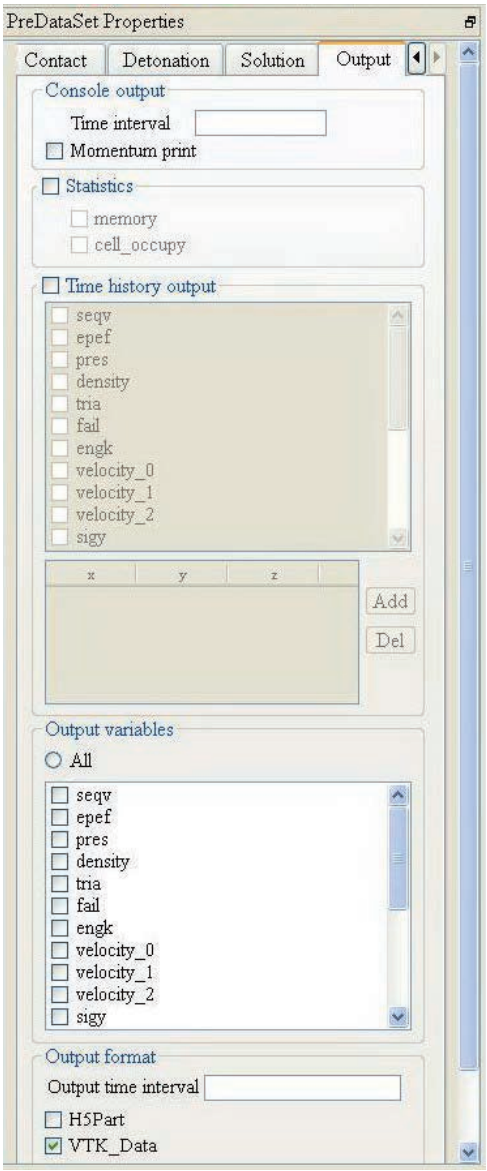


图 2.57: Output Option

Time interval：设置控制台报告计算状态时间间隔

控制台监测内容默认有当前时间、当前时间步数、时间步长、总动能和总内能。

Momentum print：设置在控制台是否报告动量状态。

- Statistics

  统计内存和实际网格使用量。**memory**：是否在指定时间间隔输出内存耗费量到.sta 文件，该功能目前仅在 windows 下有效。勾选为输出，不勾选不输出。缺省为不输出。

  cell_occupy：是否在指定时间间隔输出有质点的网格的比例到.sta 文件。勾选该选项则输出，不勾选则不输出。缺省为不输出。

- Time history output

  记录观测点的变量时程曲线，可供选择输出的变量见表2.1。

  “Add”按钮：增加一个观察点，其 x、y、z 表示观察点的在全局坐标系三个方向上的坐标。

  “Del”按钮：删除当前激活的观察点。

- Output variables

  设置在后处理文件中要观察的物理量，可供选择输出的变量见表2.1。

- Output format

  Output time interval：定义输出后处理文件的时间间隔。

  H5Part：是否输出 H5part 格式的后处理数据文件；

  VTK_Data：是否输出 VTK 格式的后处理数据文件。

表 2.1: 各输出变量对应的物理意义

seqv	Mises 应力	velocity_0	x 方向速度	exx	x 方向累计应变
epef	等效塑性应变	velocity_1	y 方向速度	eyy	y 方向累计应变
pres	压力	velocity_2	z 方向速度	ezz	z 方向累计应变
density	密度	sigy	屈服应力	posx	x 向位移
tria	应力三轴度 σ^*	damg	损伤度	posy	y 向位移
fail	失效	engi	变形能	posz	z 向位移
engk	动能	body	体编号	com	组件号
cp	声速	kelv	Kelvin 温度	mat	材料组

第三章　分析计算

3.1　建立算例文件

PeneBlast 系统中可通过以下两种途径生成可直接进行计算的算例文件：

（一）通过前处理界面中的各项操作、设置相应参数来生成

依照上一章的界面功能说明，在 PeneBlast 系统的前处理界面中新定义任务，新建材料及几何模型，设定各求解参数后，点击菜单栏 File->Save Job，即可在当前工作路径下生成 xmp 文件。用户也可右击 Job Browser 中的指定任务，点击“Save”完成此操作。

具体各项操作步骤请参见《第五章 PeneBlast 入门指南》。

（二）直接导入已有的 xmp 文件

点击菜单栏 File->Load Job，用户可根据弹出的文件对话框（如图3.1），将指定路径下的某个 xmp 数据文件导入进来，PeneBlast 系统将载入其中的相应参数，同时将该实体模型显示在 GUI 实时显示区中。xmp 文件保存了在前处理界面中输入的所有信息，可由前处理系统生成，也可以由用户直接在文本编辑器中手工输入生成。用户导入 xmp 数据文件后可在前处理界面中进行模型检查，或重新设置参数。

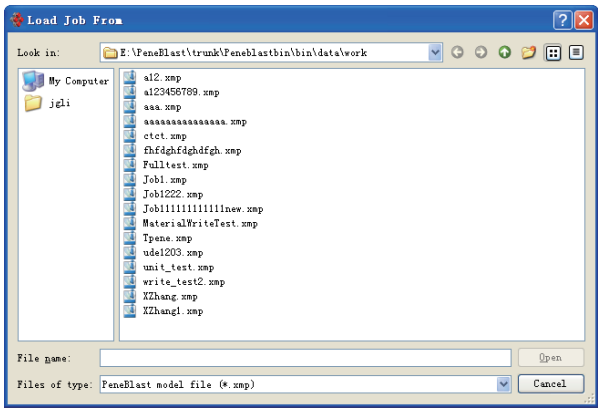


图 3.1: Load Job 对话框

3.2 执行计算

1. 在正式开始计算前，点击菜单栏 Simulation->Check Input Data，也可先点击工具栏上的按钮，来检查当前保存的 xmp 文件是否符合格式要求，并给出检查结果——格式有误则弹出对话框（如图3.2），给出具体的错误提示信息；格式无误则弹出对话框（如图3.3）提示格式检查通过。

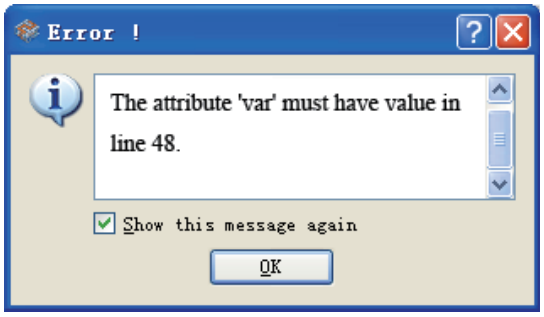


图 3.2: 错误提示信息对话框



图 3.3: 格式无误提示框

2. 点击菜单栏 Simulation->Start，也可以点击工具栏上的按钮，PeneBlast 即开始进行当前任务的计算（如图3.4）。

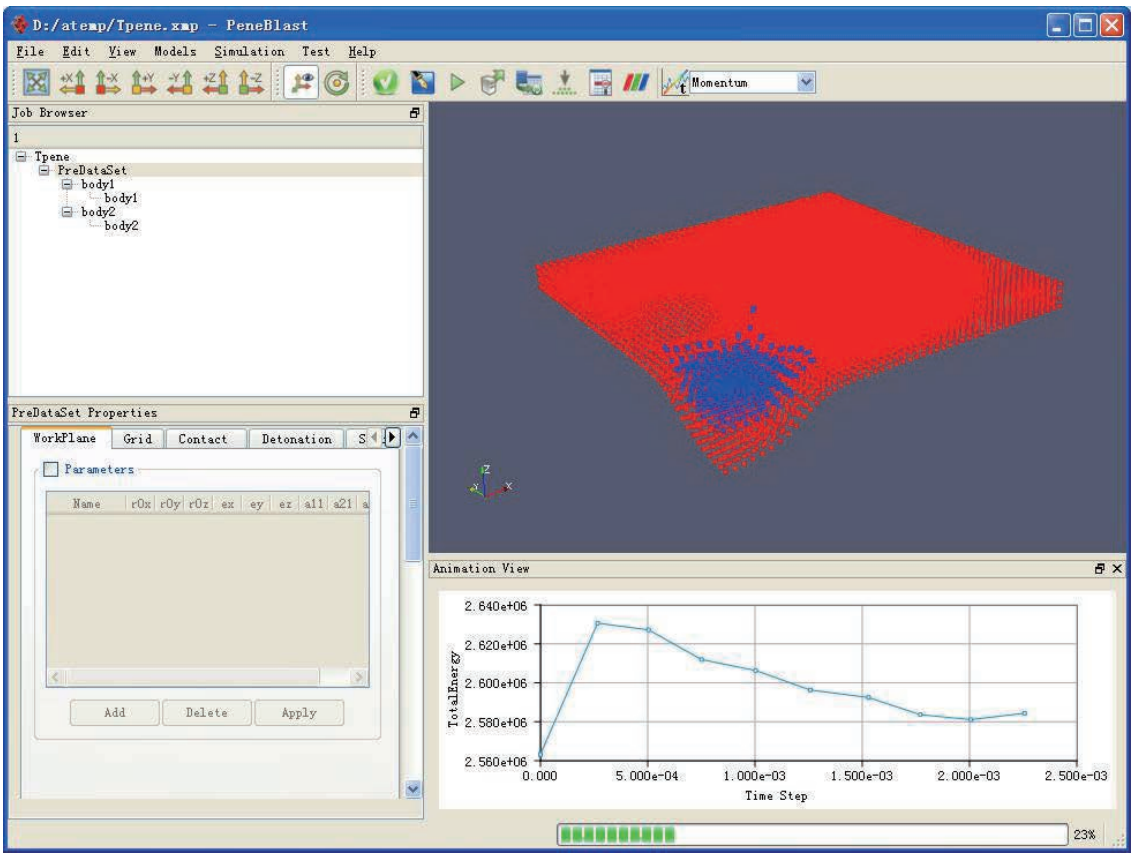


图 3.4: PeneBlast 界面实时显示计算进程

3. 计算过程中，用户可根据需要随时暂停（Simulation->Pause，或点击工具栏上的按

钮）和终止计算进程（Simulation->Stop，或点击工具栏上的按钮），改变计算实时监测区的显示变量。

4. 计算进程暂停后，用户可点击菜单栏 Simulation->Save RestartFile（或点击工具栏上的按钮），保存重启动状态文件，则程序弹出如图3.5所示对话框，提示重启动文件保存成功。



图 3.5: 保存重启动文件对话框

5. 如需从中断状态继续进行计算，点击菜单栏 Simulation->Restart，也可以在点击工具栏上的按钮，PeneBlast 系统即读入上次计算保存的重启动状态文件（*.pe），并从该状态处继续计算（重启动）。

6. 点击菜单栏 Simulation->Postprocessing，也可以点击工具栏上的按钮，PeneBlast 系统即开始调用 Paraview 进行后处理，用户将在打开的 Paraview 界面中进行结果观察。

第四章　后处理系统

PeneBlast 系统选用开源软件 ParaView 作为其后处理软件。由于 ParaView 既可以运行于单处理器的工作站，也可以运行于分布式存储器的大型计算机，故 ParaView 既可以运行于单处理应用程序，又可以通过把数据分布于多个处理器而处理大型数据。针对 ParaView 软件，PeneBlast 系统可生成两类后处理数据文件，后缀名分别是 vtu 和 H5Part。这里，我们简单介绍下 ParaView 的一些常用功能和使用方法，更加详细的功能介绍和操作流程请参考 ParaView 的帮助文档。

4.1　开始

4.1.1　安装

Unix 下的安装

按照安装说明即可，推荐安装到/usr/local 或者是/opt 目录下。

Windows 下的安装

按照安装说明，运行安装程序。

4.1.2　开始 ParaView

执行 ParaView 有多种方式，主要依赖于是运行于单处理器模式还是分布式处理器或是客户端/服务器模式。其中，最简单的执行模式就是单处理器模式。这里，我们仅介绍单处理器模式。

On Unix

如果 ParaView 的安装路径在当前用户默认的搜索路径范围内（$PATH 或者 $path），可以通过如下指令来运行 ParaView：

$ paraview

如果 ParaView 的路径没有加入当前用户的搜索路径，则可以把该路径添加为默认搜寻路径，或者采用绝对路径来运行 ParaView。例，如果安装路径是：/usr/local/bin，那么执

行下面的命令即可：
$/usr/local/bin/paraview

ParaView 可识别命令行参数，可通过 –help 选项来查看 ParaView 的可用参数列表。

On Windows

点击开始菜单中“所有程序 ->ParaView-3.8.0 -> ParaView”或者桌面上的快捷方式运行 ParaView。对于怎样在分布式下运行 ParaView，请参考 ParaView 帮助文档。

术语和概念

在此介绍几个 ParaView 中用到的一些术语：

- 对象：模拟系统中实体状态或行为的抽象。
- 数据对象：数据抽象。例如，当加载一个 vtu 文件后，该文件就通过一个数据对象来代表。
- 过滤器：一个至少需求一个输入并且产生一个输出的过程对象。滤波器包括：平面截取滤波器，阀值滤波器等。
- 管道：在 ParaView 中，过程对象相互联系形成一个可视化管道，管道中的每一个过程对象代表一个对某个数据的操作。

4.2 用户界面

ParaView 3.8 的程序界面如图4.1所示，由如下几部分组成：

Menu Bar（菜单栏）

系统菜单，所有任务均可通过点击某个菜单项来完成。

Tool Bar（工具栏）

常用工具的快捷方式集合。

Pipeline Browser（管道列表）

ParaView 采用管道管理数据的读取和操作，并按创建的先后顺序以树状结构的形式列出系统的所有数据对象的名称。子数据对象按其创建的先后顺序列在父数据对象的下边，并缩进。

Object Inspector (对象属性)

管道列表中数据对象的各类属性，包括三个属性页：Properties、Diaplay、Information。

Display Area（显示区）

管道列表中对象的数据可视化区。用户在此可以查看、探测数据，并能实现对数据的交互操作。该区域可以进一步切分成多个不同类型的视图（View），并在不同视图中显示不同的计算结果。

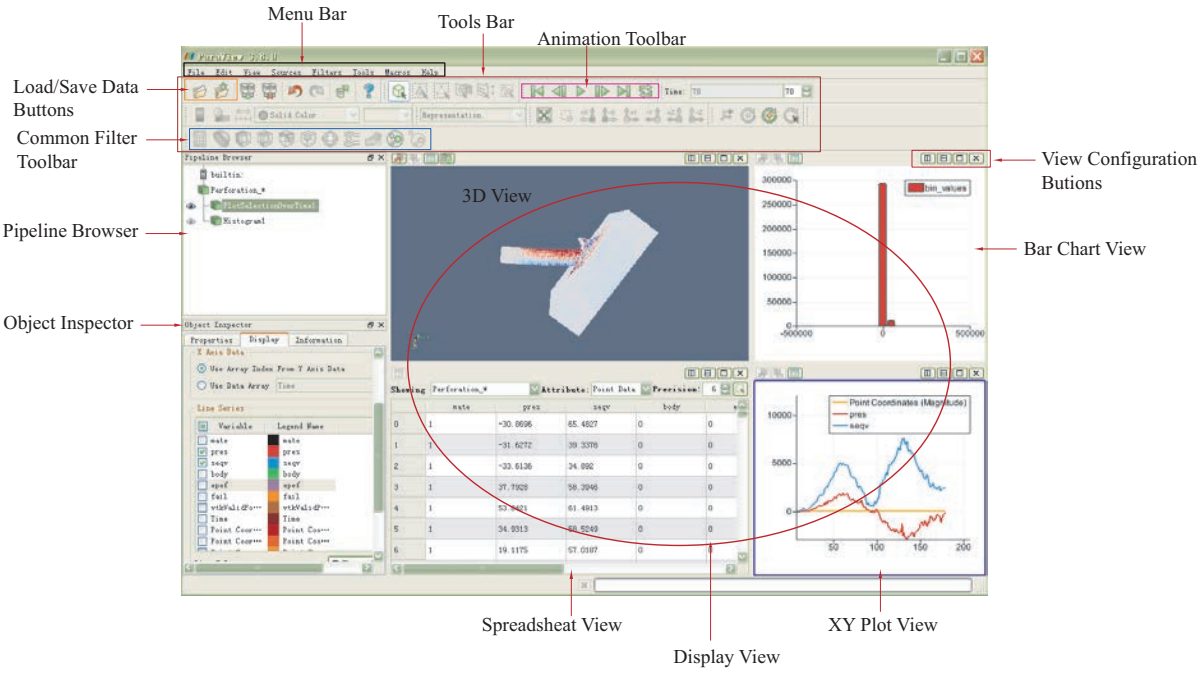


图 4.1: ParaView 界面

4.3 一个简单的例子

在介绍各个菜单的内容和工具的具体功能前，我们给出一个简单的例子说明如何加载一个数据。Peneblast 获取数据的方法有两种：从文件中读取数据或用数据源对象创建数据。我们主要用第一种方法处理 PeneBlast 系统生成的后处理文件（vtu 和 H5Part 文件）。

假设有一个后处理文件 Peformation.vtu。点击”File”菜单中”Open”项打开文件所在文件夹，点击相应的文件，然后点击 OK 按钮即可，如图4.2所示。此时，ParaView 读了数据文件信息，将在 PipeLine Browser 中出现一个以 Peformation 命名的数据对象。然后点击 Object Inspector 下的 Properites 属性页的“Apply”按钮，则载入该数据文件的所有属性值，并在 3D View 可见（管道列表中该对象名称前的眼形图标为黑色），如图4.3所示。

数据对象的在视图区绘制的方式由工具栏的 Representation Toolbar 来控制，对于质点型数据，我们采用 Points 方式绘制图形，如图4.4所示，选择 Points；显示的物理量通过工具栏的快捷操作 Active Varaible Contorls 的下拉菜单来选择，我们选用压力物理量，如图4.5所示，选择变量 pres。点击 则可显示压力值的颜色标注图，见图4.6所示。

拖动鼠标操作 3D 视图：按下左键在 3D View 区域移动鼠标使相机在视图区内旋转，相机旋转所围绕的点是旋转中心；鼠标中键用来移动场景；右键用来放大和缩小场景。

4.4 PipeLine Browser

ParaView 对加载的数据对象或者以其它方式生成的数据对象采用管道管理，按创建的先后顺序以树状结构的形式列出，如图??所示。对管道列表中的数据对象有如下几点说明：

- 数据对象是系统处理的主体，每个数据对象有三个属性页（统称为对象属性）。

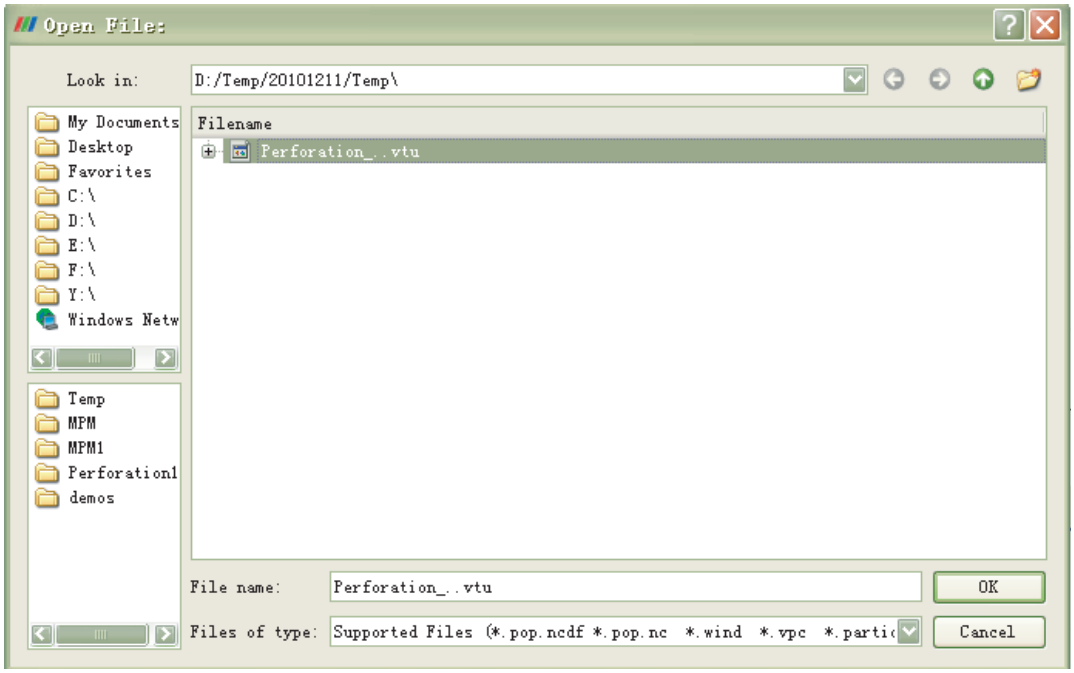


图 4.2: ParaView 打开文件

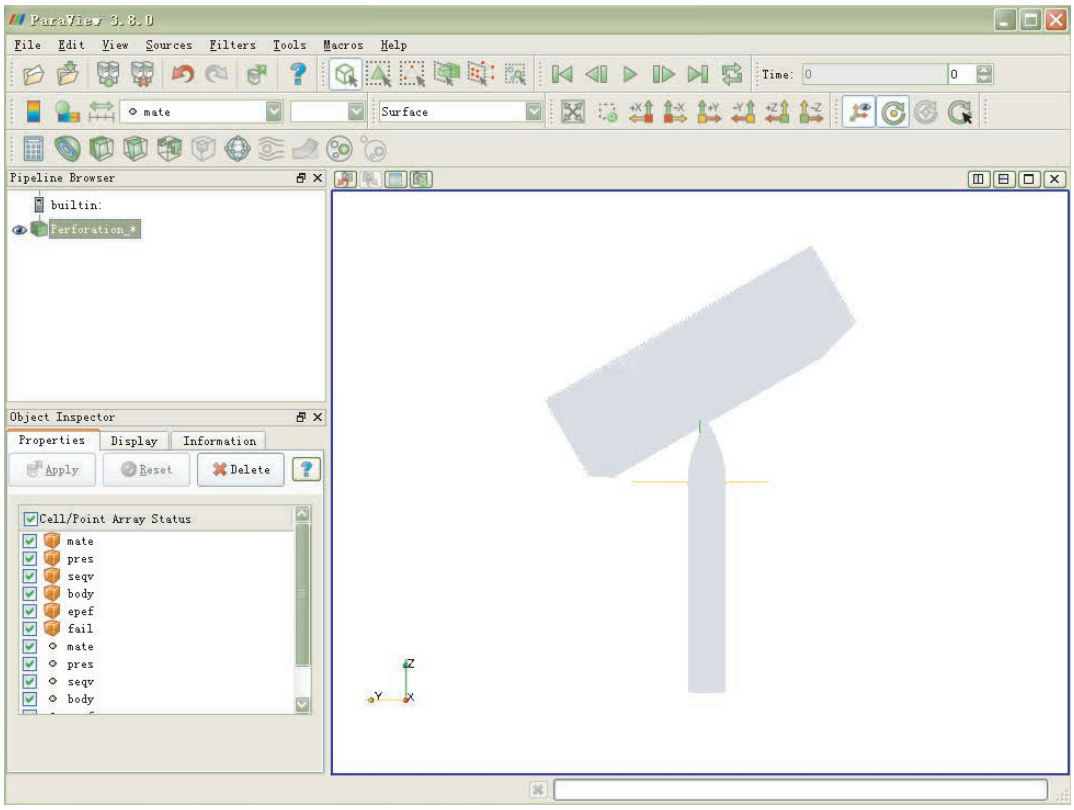


图 4.3: 加载数据文件

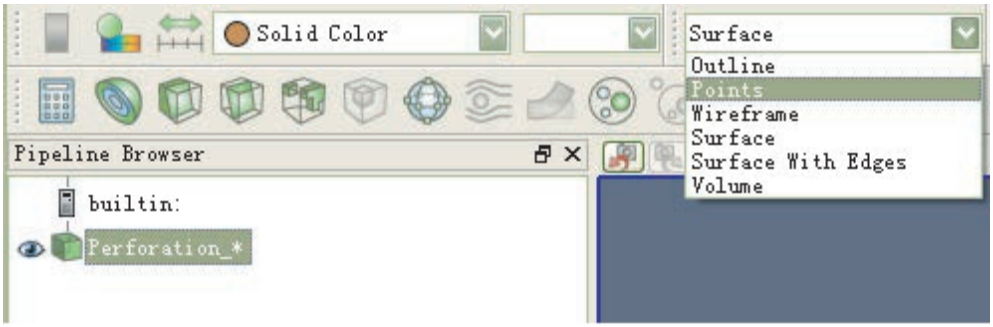


图 4.4: 选择绘制方式

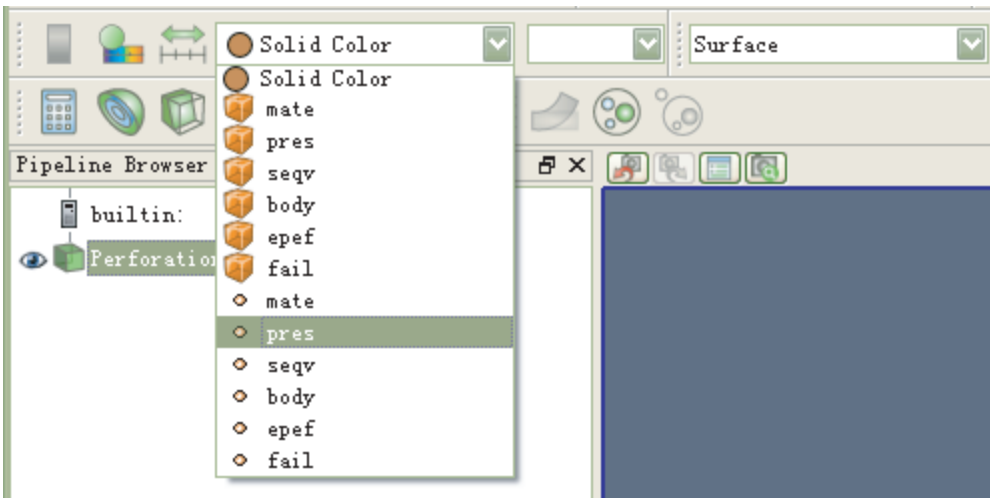


图 4.5: 选择显示的变量

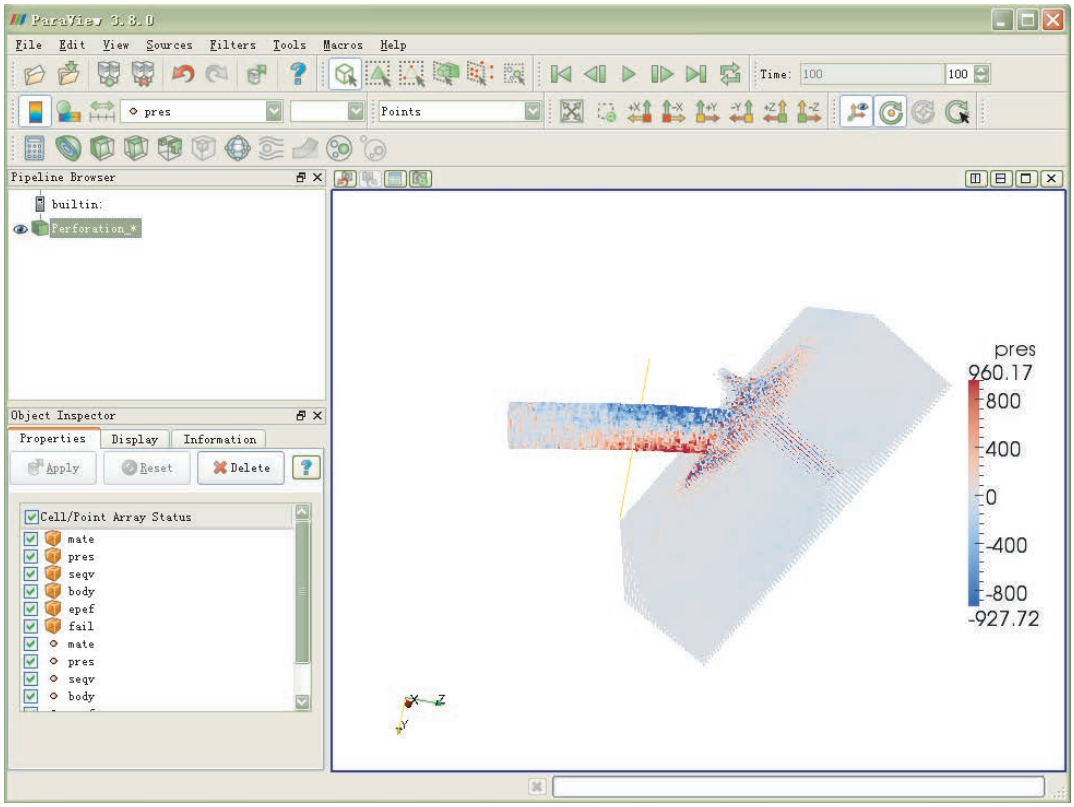


图 4.6: 第 100 输出步的压力

- 质点或单元型的对象数据集可作为父本，通过滤波器操作可产生其子数据集。
- 对于同一个对象，可以在不同的 View 中以不同的形式显示其内容或者以不同的物理量来显示。例如，对象 Performation 包括某些质点在各时间步的计算结果，而如果将该对象在 Spread Sheet View 中显示，则得到该质点在各时刻的计算结果列表。
- 在对管道列表中的数据对象进行各项设置或者操作时，必须激活该对象数据。管道列表中最多只能有一个数据对象处于激活状态。
- 数据对象名称前如果有一个眼形图标，则该图标可控制该数据对象是否在当前的 View 可见。

管道列表区响应以下鼠标操作：

- 鼠标左键：点击数据对象名称可激活该数据对象；点击眼形图标，在当前 3D View 显示该数据对象： 灰色表示不显示， 黑色表示显示。
- 鼠标右键：点击数据对象名称或者眼形图标，弹出快捷操作如图??所示；点击空白区，弹出快捷操作如图??，仅有 Open 可用。

ParaView 系统支持以下几类数据集：

1. 质点型数据

   质点数据的集合，含有各质点的坐标和计算结果，质点数据集可以通过以下方式创建：

2. 网格型数据集

网格数据的集合，含有网格的定义数据以及网格结点的计算结果。

4.5 Object Inspector

每个数据对象都有对象属性，包括三个属性页：Properties、Diaplay 和 Information。对象属性页是数据对象的一个重要属性，控制着该数据对象：是否及如何被载入 ParaView，视图区的显示，数据对象的一些基本描述信息。用鼠标左键点击管道列表中的数据对象，则激活该数据对象的属性。不同的属性页可以通过点击窗口上部的标签进行切换，属性页的具体内容取决于当前数据对象类型。下面依次介绍三个属性页。

4.5.1 Properities

该属性页由两部分构成：操作按钮（Operation buttons）和参数区（Parameters Setting），如图所示4.7。

操作按钮

操作按钮包括三个操作：

- Apply：点击，按照参数区的设置载入当前的数据对象，状态由高亮显示转为灰色。当参数区的设置有改变时，该选项会再次高亮显示。
- Reset：点击，恢复上次参数设置。如果参数设置发生了变化，该项才可用；
- Delete：删除管道列表中当前数据对象。

参数区

不同类型的管道对象，参数区的内容不同，具体请参考 ParaView 帮助文档。下面给出三种典型的数据对象的参数区：vtu/H5Part 数据集、Clip（滤波器操作）、PlotSelectionOverTime（滤波器操作）。

- vtu/H5Part 文件：如图所示4.8，参数区列出了该数据对象携带的物理量。系统仅载入勾选上的物理量。
- Clip：如图所示4.8，参数区列出了切割几何体定义参数；
- PlotSelectionOverTime：如图所示4.8，参数区列出了所选的质点列表及 Copy 选项。

当参数区的内容设置有所变化时，此时操作按钮 Apply、和 Reset 会高亮显示，点击 Apply 按钮设置才会生效，点击 Reset 按钮恢复之前的设置。

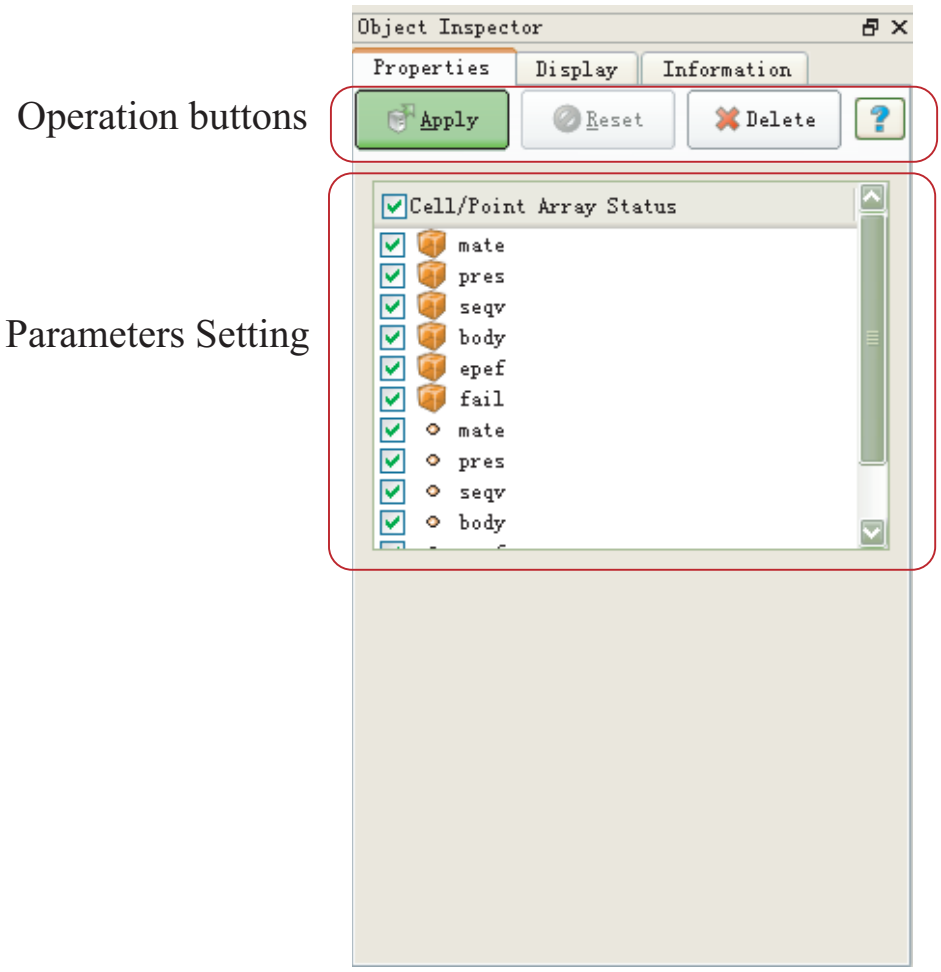
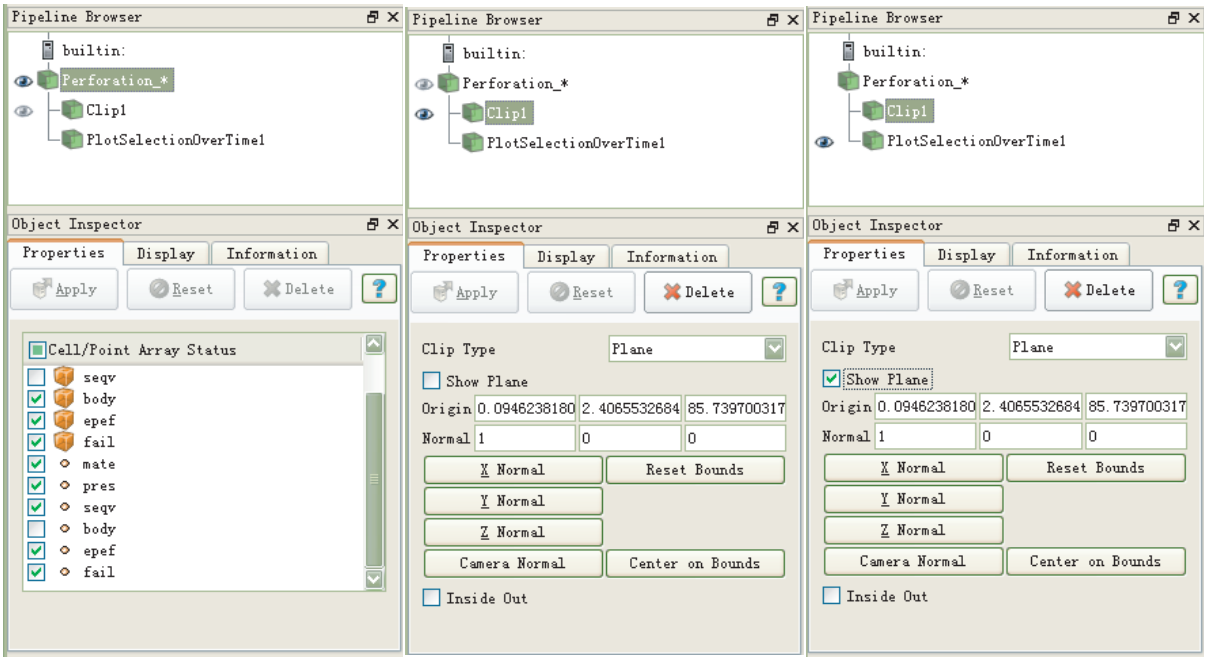

Operation buttons
Parameters Setting
Object Inspector
Properties
Display
Information
Apply
Reset
Delete
Cell/Point Array Status
mate
pres
seqv
body
epef
fail
mate
pres
seqv
body

图 4.7: 参数设置属性页



vtu/H5Part Clip PlotSelectionOverTime

图 4.8: 参数设置属性页

4.5.2 Display

该属性页用来设置控制管道对象在视图区显示时的一些参数，由多个子属性框组成。不同类型的管道对象子属性框的内容及个数有所变化。只有在数据对象及其所在的视图均选中的情况下，该属性页才可用。下面介绍两种典型的数据对象的 Diaplay 属性页：vtu/H5Part 数据集和 PlotSelectionOverTime（滤波器操作）。

vtu/H5Part 文件

该数据对象的属性页由 10 个子属性框构成：View、Color、Slice、Annotation、Style、Edge Style、Volume、Lighting、BackfaceStyle、Transformation。下面主要介绍一下 Style 属性框，其它的请参考 ParaView 帮助文档。Style 属性框用来控制显示的质点的大小，如图4.9所示。各个选项的意义如下：

- Representation
  功能：选择测绘方式，纯质点型数据推荐选用 Points，含有单元则选用 Surface With Edges。

- Interpolation
  功能：选择绘制云图的插值方法。

- Material
  功能：请参考 ParaView 帮助文档。

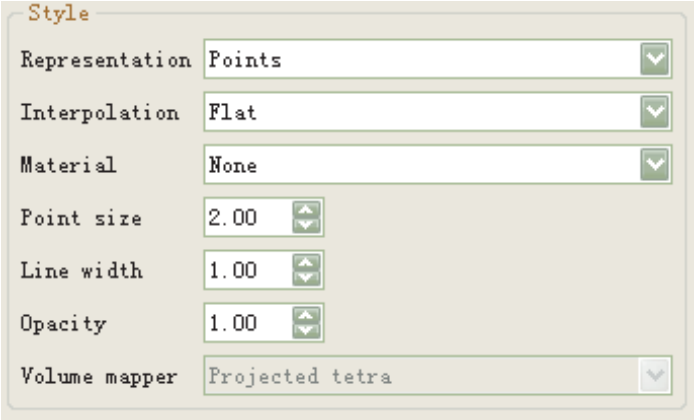


图 4.9: Diaplay Style 属性内容

- Point size
  功能：调整显示的质点大小。
- Line width
  功能：调整显示单元边的宽度。
- Opacity
  功能：调整透明度。
- Volume mapper
  功能：请参考 ParaView 帮助文档。

PlotSelectionOverTime

该数据对象的属性页由 8 个子属性构成：Select Block、Attribute Mode、X Axis Data、Line Series、Line Color、Line Thickness、Line Style、Marker Style，如图所示。下面主要介绍一下 Select Block、X Axis Date、Line Series 属性框。其它的请参考 ParaView 帮助文档。

- Select Block：观察的质点 ID 列表，勾选的质点相关物理量的时间历程曲线会在 XY Plot View 展现。该处只能单选。
- X Axis Data：选择 x 轴表示的内容
- Line Series：物理量列表，可多选。

4.5.3 Information

该属性页显示管道对象的一些统计信息。对于不同类型的数据对象，该属性页的内容会有所不同。在此我们仅给出导入的质点型数据所创建的管道对象的相关内容介绍。其它的请参考 ParaView 帮助文档。针对含有质点/单元数据的管道对象，该属性页内容如图4.11所示，具体包括 5 项内容，如下：

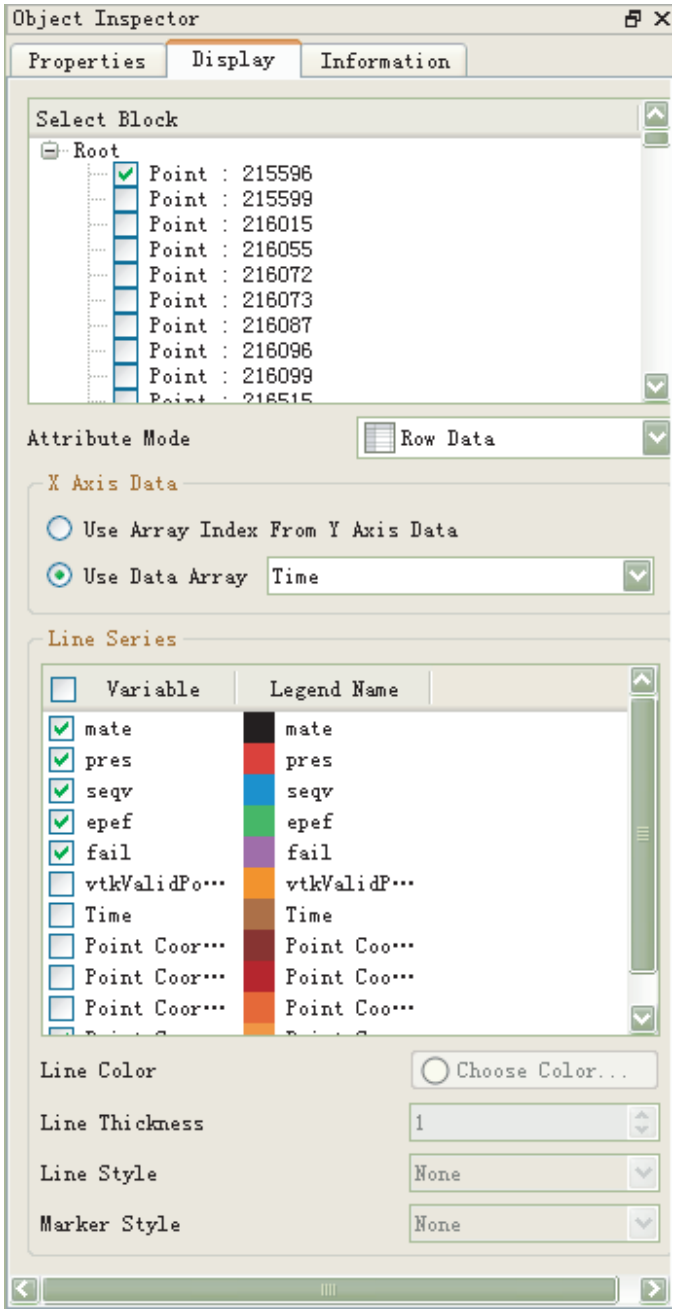


图 4.10: PlotSelectionOverTime 数据对象的 Diaplay 属性内容

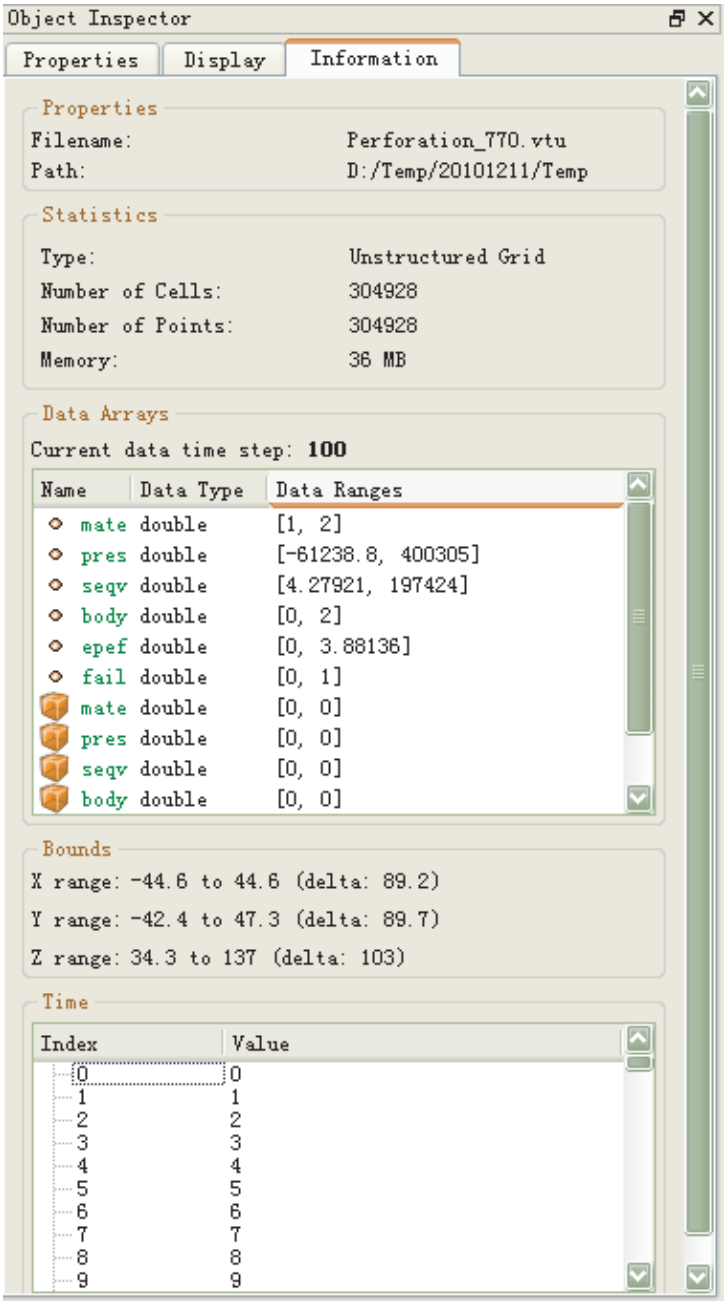


图 4.11: Information 属性内容

- Properties
  功能：显示该管道对象当前帧的文件名称和文件保存的路径。

- Statistics
  功能：显示该管道对象的一些统计信息，如数据类型、单元数、质点数、文件大小。

- Data Arrays
  功能：显示当前帧中物理量的数据类型及该物理量值的范围

- Bounds
  功能：显示当前帧中材料区域的边界

- Time
  功能：请参考 ParaView 的帮助文档

4.6 下拉菜单

4.6.1 File 菜单

File 菜单主要用于打开和保存 ParaView 的各类型文件。

- Open

  功能：打开数据文件。PeneBlast 的计算结果以 H5Part 或者 vtu 的数据格式存储，其中 H5Part 为一个文件，而 vtu 文件是由多个文件组成，各文件对应的是一个输出步。ParaView 可载入某一个文件，也可以同时载入 vtu 的一系列文件，形成动画。

  流程：点击该选项，弹出文件选择对话框 (如图4.2所示)。选择要打开的文件 ->Object Browser 中增加以该文件名命名的对象 ->Object Inspector 中显示 Properites 属性页，列出数据文件中所包含的结果变量名，用户可选择所要处理的结果点击 Properites 属性页中的 Apply 按钮，第一个时间步的物理模型将显示在当前视图中 (如果当前视图不是 3D View 视图，则不显示)。

- Recent Files 功能：打开最近打开过的文件。

  流程：点击该选项，在该菜单项下以子菜单的形式列出最近打开过的文件列表，从列表中选择文件名，系统根据文件的扩展名判断打开方式。

- Save State

  功能：将 ParaView 的当前 GUI 状态和所有数据集保存到文件中 (扩展名为 sta)，利用 Load State 可以将 ParaView 恢复到所保存的状态 (包括 GUI 界面和所有数据集)。

- Load State

  功能：从 sta 文件中读入已保存的 ParaView 状态，并将 ParaView 恢复到该状态。

- Save Screenshot

  功能：保存当前视图的屏幕快照。

  流程：点击该选项，弹出文件选择对话框选择要保存的文件类型 (png、tif、bmp、jpg、pdf) -> 将当前视图的快照按指定格式保存到文件中。Save Screenshot 不能用于 Spreadsheet View 视图 (此时该菜单项将显示为灰色)。

- Save Animation

  功能：保存动画。

  流程：点击该选项，弹出动画设置对话框，如图4.12所示。在该对话框点击 Save Animaiton，弹出对话框，如图所示4.13。可选择保存的格式 (avi、jpg、png、pdf 等)、保存的路径及编辑文件名，将各时刻显示区的快照按指定的格式保存。仅当已经打开了后处理数据文件 (vtu/H5Part 格式) 时才可用。若选择 avi 格式，则保存为动画，若选择图片格式，则将每一帧保存为图片。

- Exit

  功能：退出程序。

  流程：弹出确认对话框 -> 退出（Ok）或返回（Cancel）。

4.6.2 Edit 菜单

该菜单可以控制 ParaView 的全局设置、撤销操作和删除管道列表中的数据对象等。

- Undo

  功能：取消上次执行的操作，仅当存在可以取消的操作时才可用。

- Delete

  功能：删除在管道列表中选定的对象。如果该数据对象有子对象数据，则必须删除其子对象后才能执行删除操作。

- Delete All

  功能：删除在管道列表中列出的全部对象。仅当 Object Browser 中的对象总数不为零时才可用。

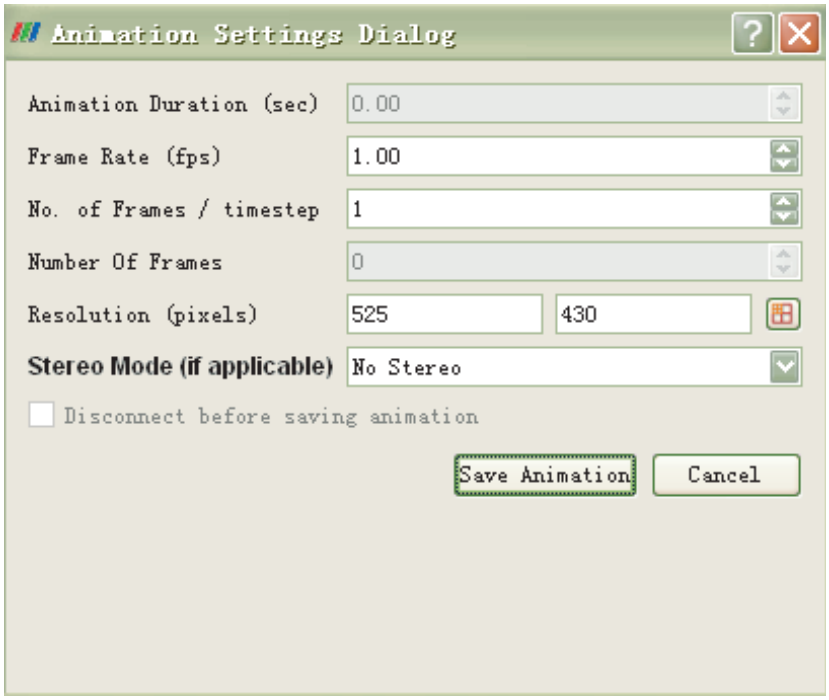


图 4.12: 动画设置对话框

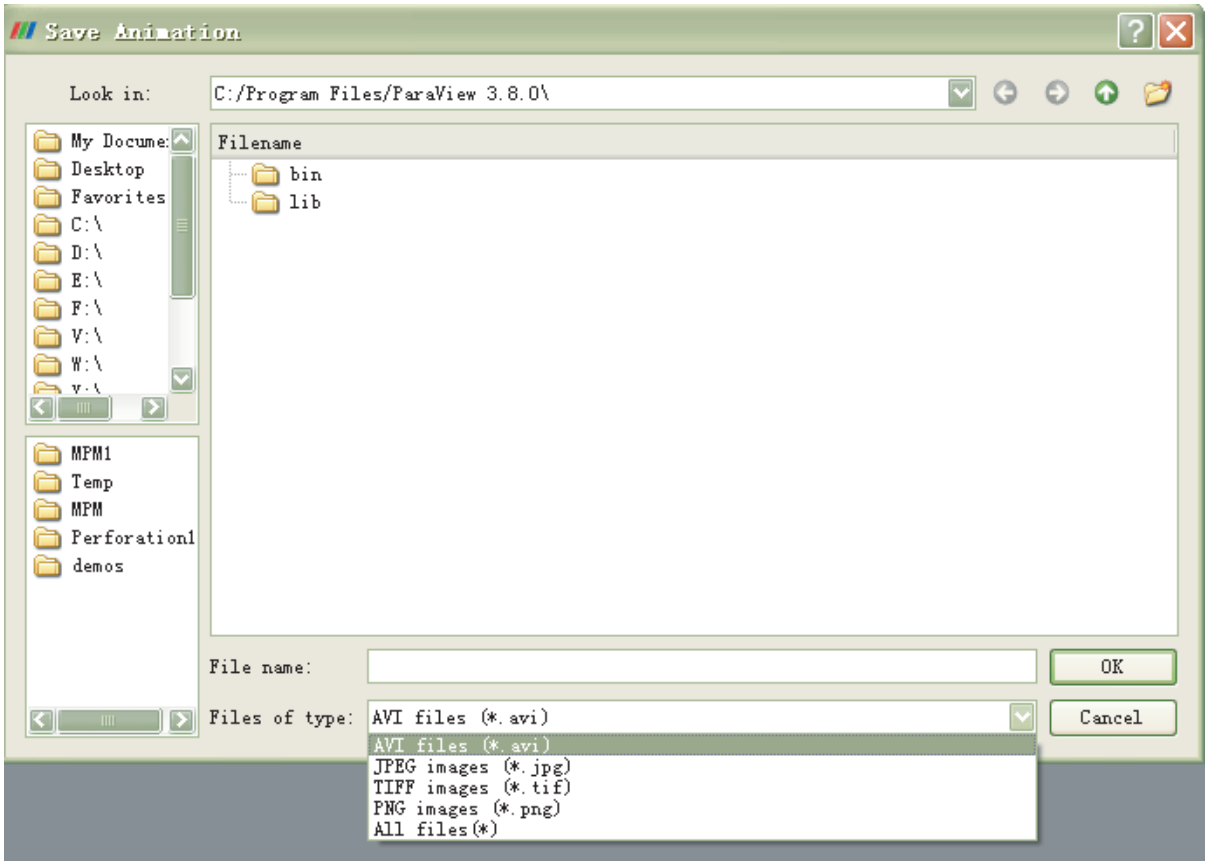


图 4.13: 动画保存

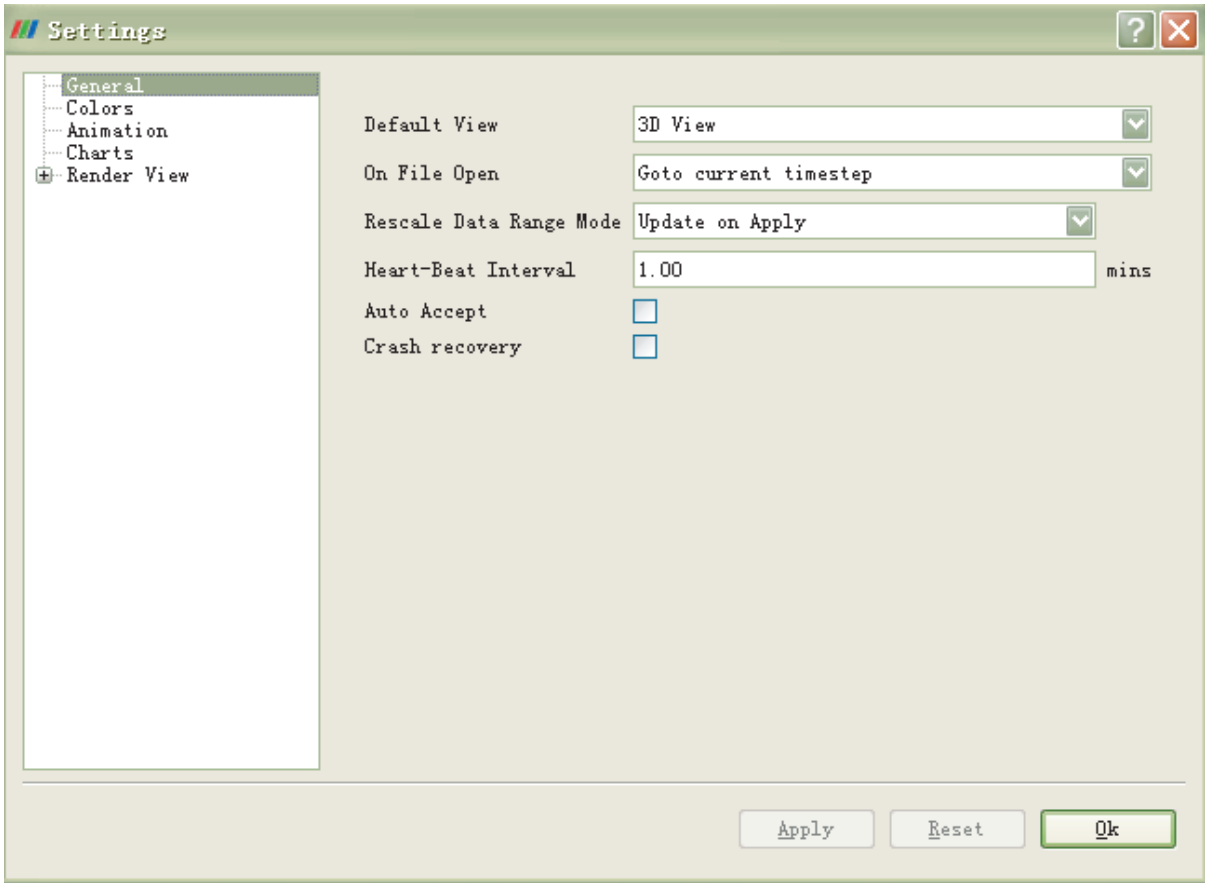


图 4.14: 全局设置对话框

- Setting

  功能：设置程序的全局参数。点击该选项，弹出 Settings 对话框，如图4.14（左边为各项设置的类别，右半部分为各设置的详细内容）所示。

- ViewSetting

  功能：列出当前视图可以改变的内容，相应的内容会依据不同的视图类型有所不同。

4.6.3 View 菜单

该菜单用来定制 ParaView 工具栏上快捷操作，诸如动画控制、管道列表、对象属性页等。

- ToolBars

  功能：控制工具栏显示的快捷操作，点击其下级菜单中的某一项即可切换该项在工具栏中显示/隐藏的状态，如图所示4.15。

- Annimation View

  功能：控制是否在界面显示动画播放状态控制栏。

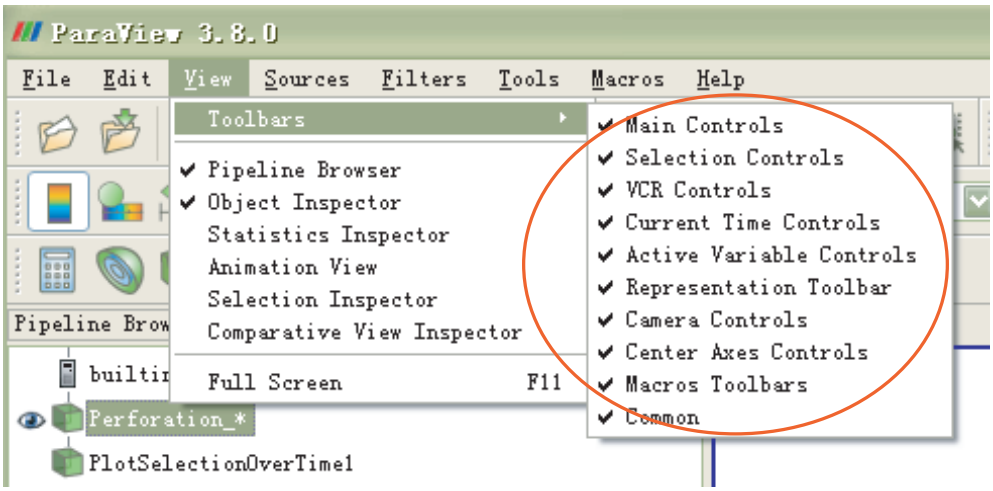


图 4.15: 工具栏设置

- Statistics Inspector

  功能：控制是否在界面显示管道列表中数据集的一些总体信息栏。

- PipeLine Browser

  功能：控制是否在界面显示管道列表区。

- Object Inspector

  功能：控制是否在界面显示对象属性界面界面。

- Full Screen

  功能：全屏显示图像区，按 Esc 键切换到正常界面。

- 其余

  选项参见 ParaView 的帮助文档。

4.6.4 Filters 菜单

该菜单提供了多种过滤器操作，可以进行多种数据处理，方便观察各种物理现象和提取指定点物理量的时间历程曲线等。滤波器操作需要质点数据对象源（一般为含有质点/单元的数据对象），通过过滤器操作得到一个新的子数据集并在管道列表中位于父本下并缩进显示。

- Recent 功能：打开最近使用的过滤器。
- Commom 功能：打开常用的过滤器，如 Threshold、clip 等。
- Cosmology 功能：请参考 ParaView 帮助文档，不经常使用。

- Data Anlysis 功能：请参考 ParaView 帮助文档。
- Statistics 功能：请参考 ParaView 帮助文档。
- Temporal 功能：请参考 ParaView 帮助文档。
- Alphabetical 功能：所有过滤器列表。

在此我们介绍三种经常使用的过滤器操作：Clip、Threshold、PlotSelecttionOverTime1。对于其它的过滤器操作，请参考 ParaView 帮助文档。

Clip

功能：

裁剪物理图像，可以获得物理图像的剖面图。通过定义的几何图形，将物理图像位于该几何体某一侧的部分裁减，获得剩余部分的物理模型。仅当活动视图为 3D View 视图且在该视图中显示有数据集时该操作才可用。裁剪生成一个与父本类型一致的数据对象。

参数设置：

切割采用的几何图形及其相应的参数在该对象属性的 Properties 参数区中设置。参数区由四部分构成：Clip Type、Show、具体参数设置和 Inside Out。其中，具体参数设置部分会依据 Clip Type 选择的类型会相应的变化。

- Clip Type：几何体类型选择，支持四种类型：Plane、Box、Sphere、Scalar，常用类型为 Plane；
- Show Plane：控制几何体是否在视图中可见，若在视图中可见则可通过鼠标拖动该几何体完成相应的参数定义；
- 具体参数设置区：以 Plane 类型为例说明：Origin 用来设置中心点坐标；Normal 用来设置平面法线方向；按钮区可通过点击相应按钮产生相应的法线方向设置和中心设置；其它的请参考 ParaView 手册。
- Inside Out: 选择保留的区域。

设置完相关的参数后，可点击 Apply 按钮完成切割工作，所形成的新管道对象如图4.18所示。

流程：

在此我们以图4.16所示的数据集演示该过滤器的使用流程。

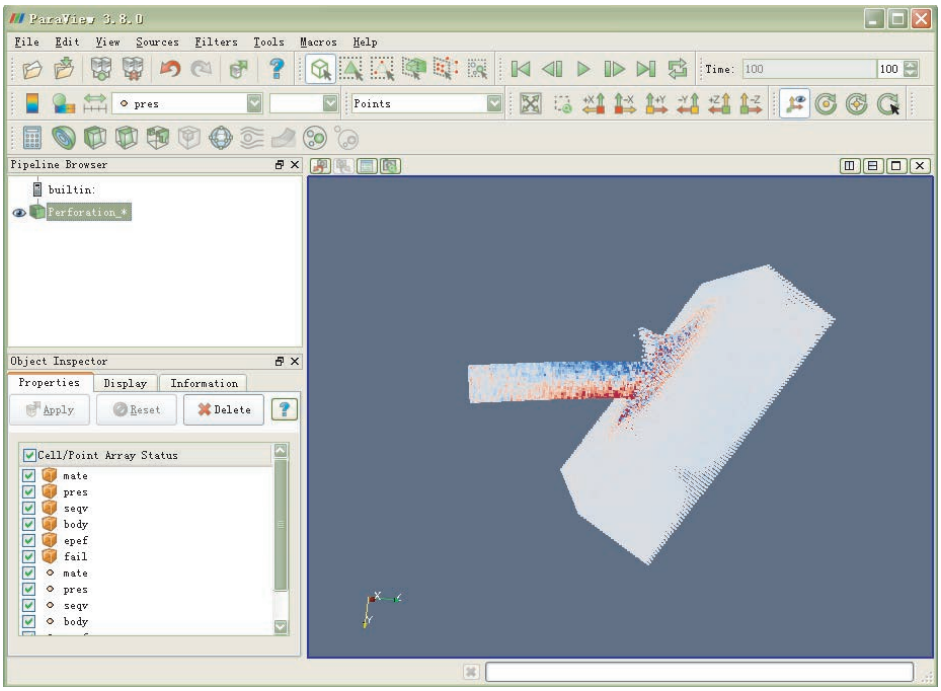


图 4.16: Clip 使用演示 1

1. 选择了管道列表中的 Perforation 数据对象，并激活该对象所在的 3D View；

2. 点击 Filters 菜单下 Common 中的 clip 选项或者点击工具栏的快捷图标，此时会在管道列表中新增一个数据对象名称为 Clip1;

3. 点击数据对象 Clip1 的属性页 Properties，进行裁剪几何体的定义，如图4.17所示；

4. 完成属性页 Properties 参数设置后，点击该属性页的 Apply 按钮完成过滤器操作；

5. 点击父本的眼形图标，关闭其可见状态。此时，在当前的 3D View 中出现的子数据对象的物理图像，如图4.18所示；

6. 对数据对象 Clip 进行相应的操作以观察各物理量在剖面上的分布；

7. 可继续调整相应的参数设置，点击 Apply 重新获得新的物理图像。

Threshold

功能：

以某物理量的阀值范围来过滤指定数据对象中的质点和/或单元，位于阀值范围内的质点和/或单元组成一个新的子数据集。仅当活动视图为 3D View 视图且在该视图中显示有数据集时该操作才可用。裁剪生成一个与父本类型一致的数据对象。

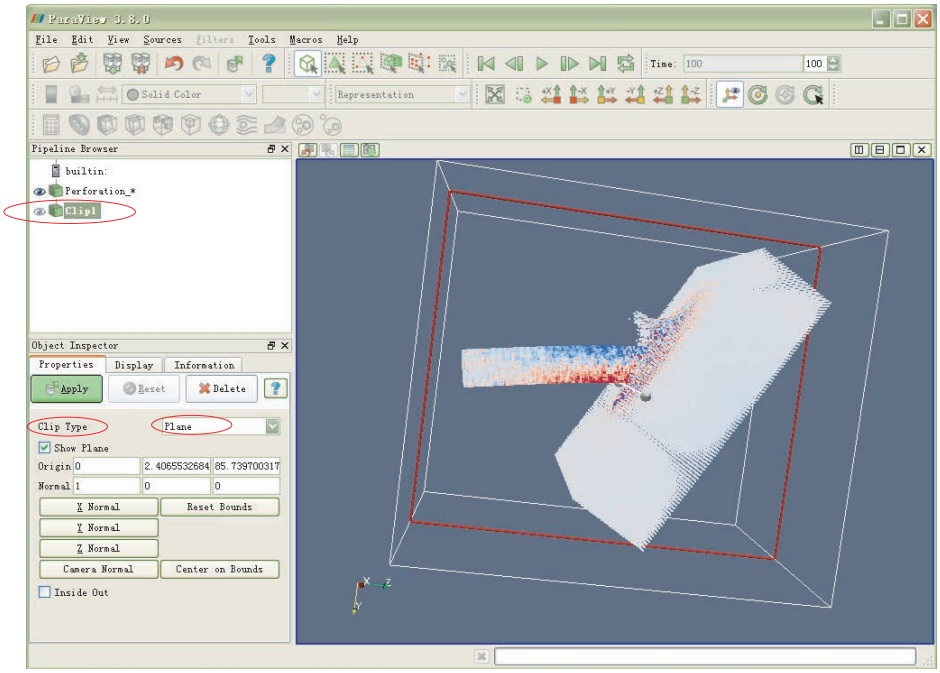


图 4.17: Clip 使用演示

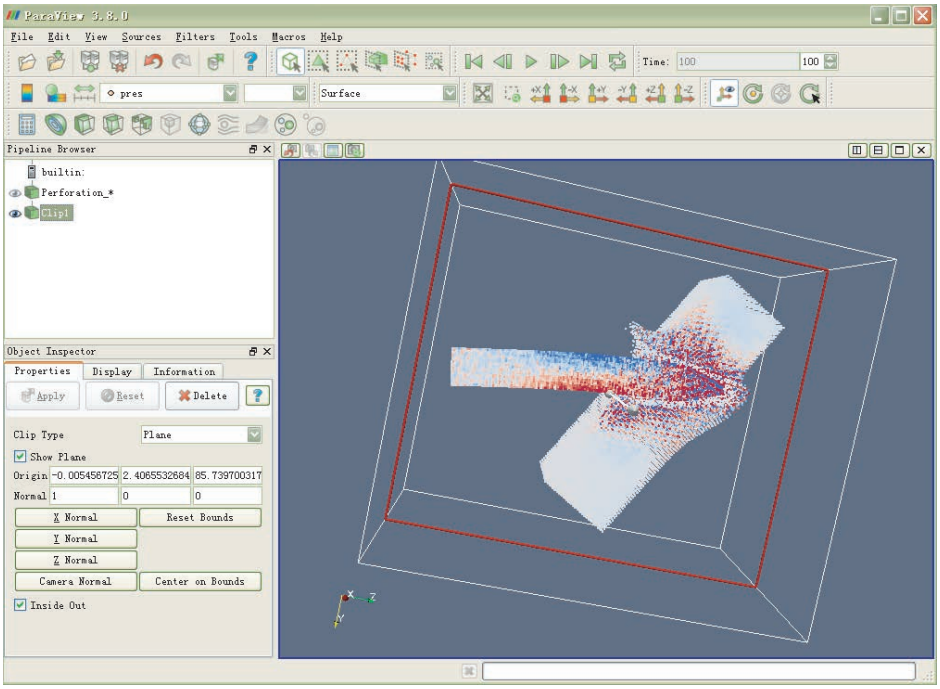


图 4.18: Clip 使用演示

定义：

物理量的选择及其阀值范围的设定位于该数据对象的 Properties 属性页的参数区，各参数的意义如下：

- Scalars：通过其下拉菜单可选择变量，以此变量的值来做判据；
- Lower Threshold：变量值的下限；
- Upper Threshold：变量值的上限；
- All Scalars：请参考 ParaView 帮助文档。

流程：

在此我们以图4.16所示的数据集进行演示该过滤器的使用流程。

1. 选择了管道列表中的 Perforation 数据集，并激活其所在的 3D View；
2. 点击 Filters 菜单下 Common 中的 Threshold 选项或者点击工具栏的快捷图标，此时会在管道列表中新增一个对象名称为 Threshold1，如图4.19所示；
3. 点解 Threshold 对象的属性页 Properties，完成参数设置后，点击该属性页的 Apply 按钮完成过滤器操作；
4. 点击父本的眼形图标，关闭其可见状态。此时，在当前的 3D View 中出现的子数据对象的物理图像，如图4.20所示；
5. 对数据对象 Threshold 进行相应的操作以观察各物理量的分布；
6. 可继续调整变量名及其取值范围，点击 Apply 重新提取数据子集。

PlotSelectionOverTime1

功能：

绘制选择的质点/结点/单元其相关物理量的时间历程曲线。

流程：

首先要选取要观察的质点/结点/单元，选取的方式参见工具栏介绍。在此我们以图4.16所示的数据集进行演示该过滤器的使用流程。

1. 点击管道列表中数据对象，并激活该数据对象所在的 3D View；
2. 点击工具栏中 ，选择质点/结点/单元。选中的质点/结点/单元会以颜色与周围区分，如图4.21所示；

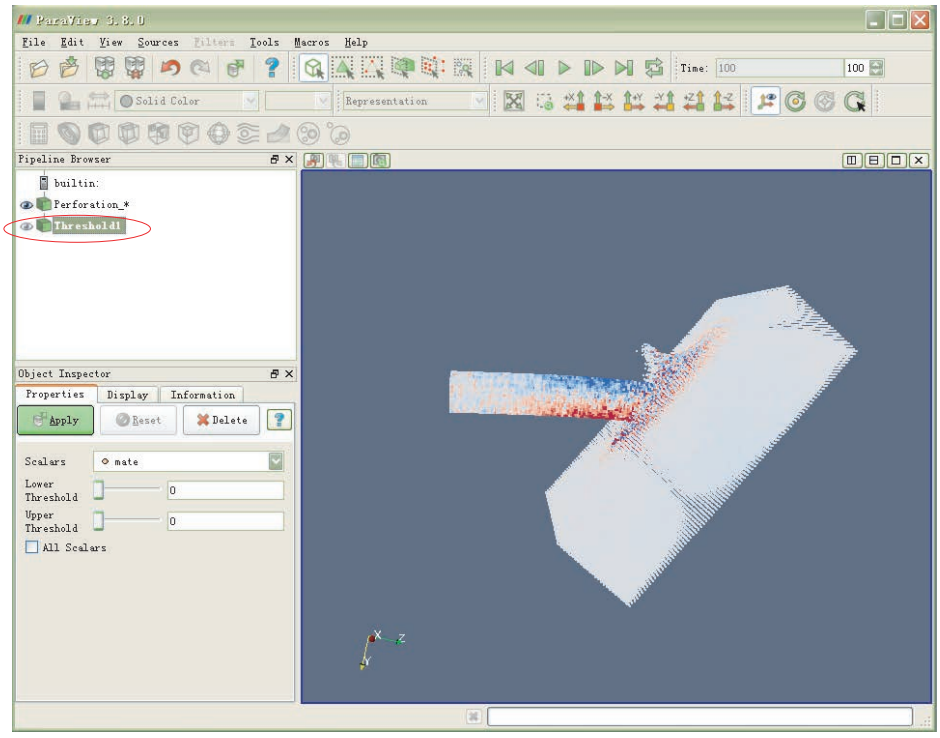


图 4.19: Threshold 使用演示

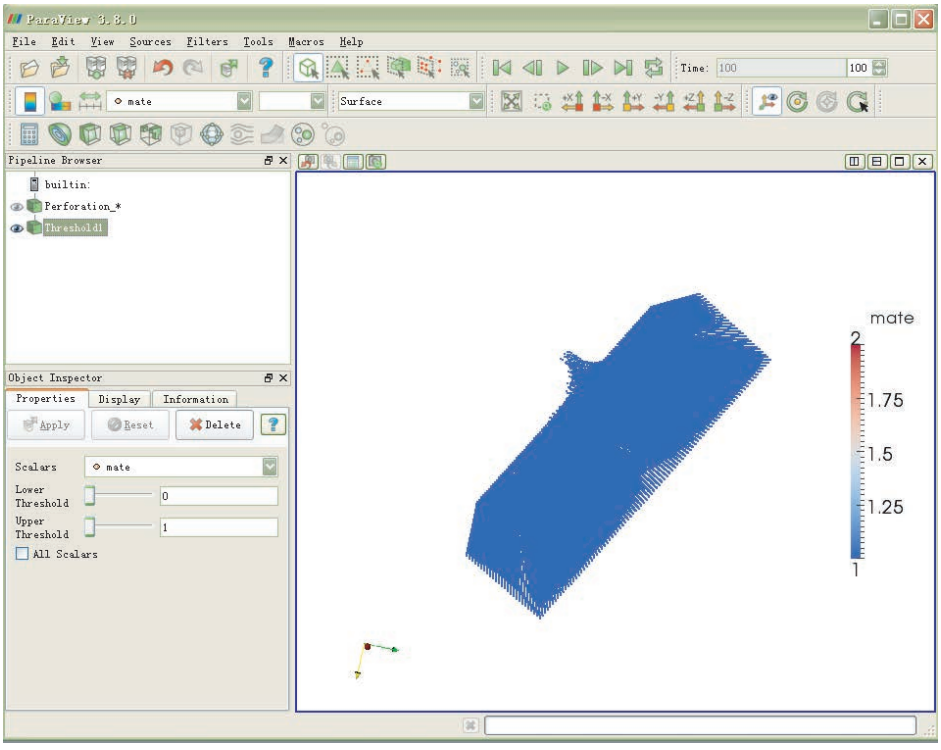


图 4.20: Threshold 使用演示

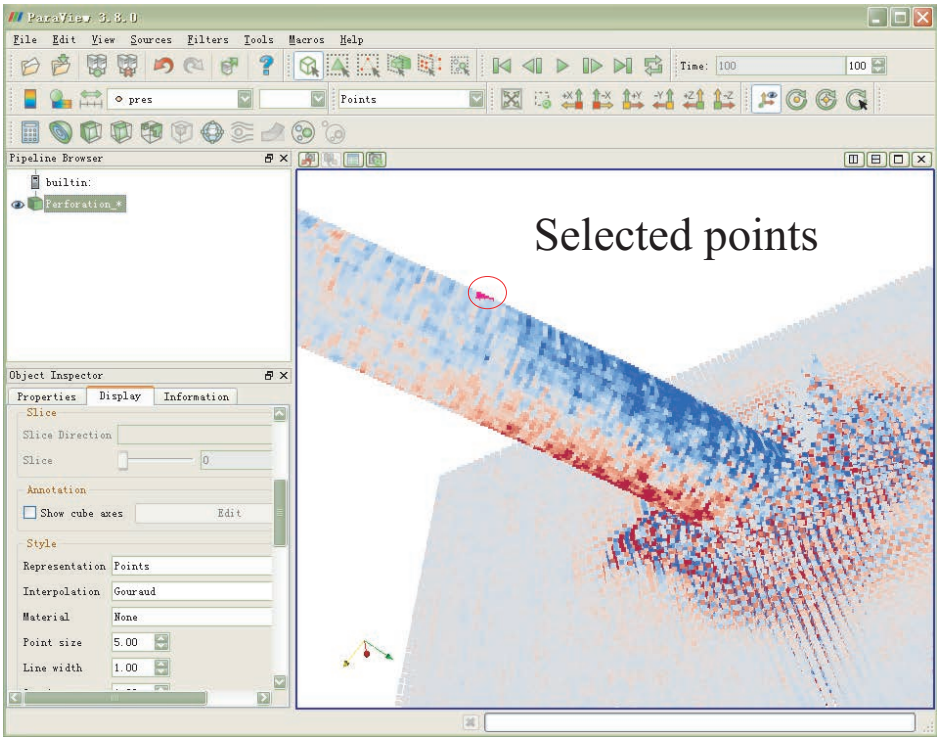


图 4.21: Plot Selection Over Time 使用演示

3. 在菜单栏中选择”Filters”“Data Analysis”“Plot Selection Over Time”。此时会在管道列表中新增一个对象名称为 PlotSelectionOverTime，同时其属性页会被相应的列出，如图4.22;

4. 在属性页中点击”Copy Active Selection”，将之前选择数据拷贝到该数据集中。

5. 点击”Apply”，完成该过滤器操作，生成的曲线如图4.23所示。完成该操作的时间视选择的质点数及父本的数据大小而定。

4.6.5 Sources 菜单

具体介绍参见 ParaView 的帮助文档。

4.6.6 Tools 菜单

具体介绍参见 ParaView 的帮助文档。

4.6.7 Help 菜单

通过该菜单可以获得有关 ParaView 的一些说明及其帮助文档。帮助文档的快捷键为 F1。

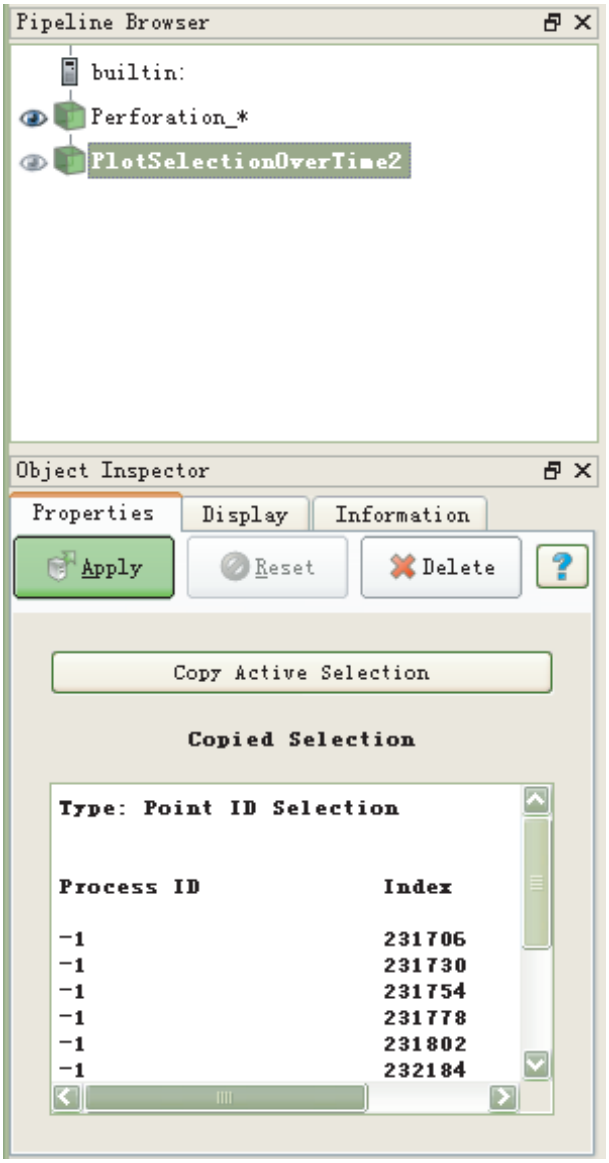


图 4.22: Plot Selection Over Time 使用演示

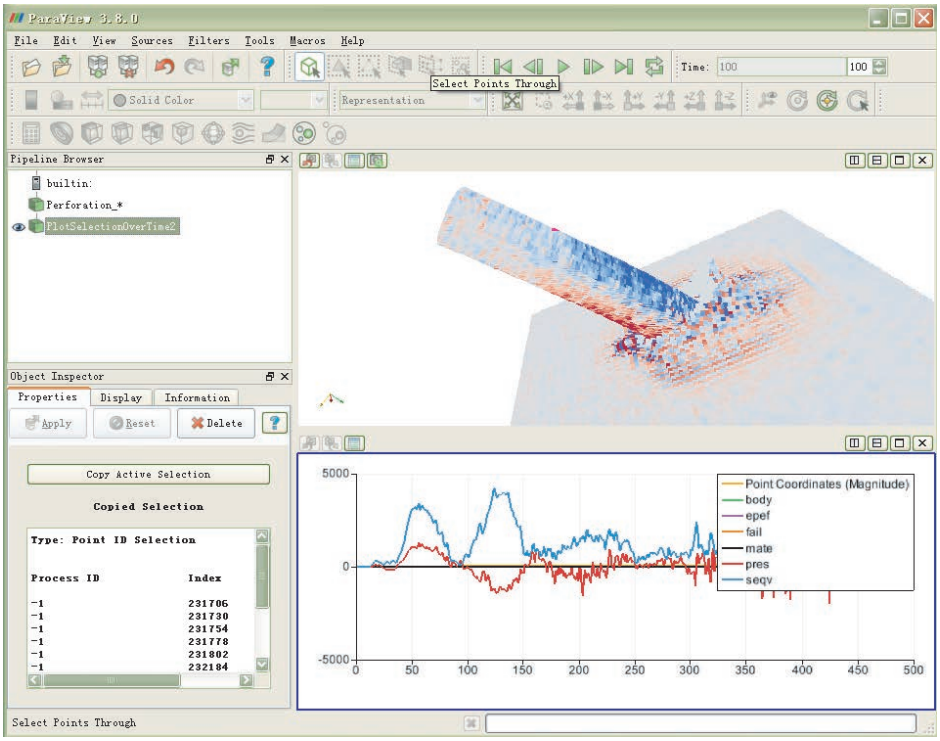


图 4.23: Plot Selection Over Time 使用演示



图 4.24: MainControl

4.7 工具栏介绍

这里简单介绍下工具栏上各个图标代表的操作。当把鼠标停留在各个图标上，即可显示该图标所代表的操作名称。

Main Contorls

对应的快捷操作如图4.24。主要用于加载一个新的数据集。 打开一个数据文件并载入到 ParaView。 保存 Pipeline Browser 选择的数据对象到一个文件。

Selection Controls

选择质点/结点/单元工具，对应的快捷操作如图4.25所示。所选择的质点/结点/单元在视图区会以颜色与周围区分，并组成一个新的数据集但并不在管道列表中列出。该数据集供 Filter 相关的过滤器使用。一次只能对一个数据集进行操作。

：点击该选项后，按住鼠标左键并拖动则可以旋转视图区域内的数据集；按住鼠标滚轮并拖动则可以移动视图区域内的数据集；右键则可以放大或缩小视图区域内的数据集；

：点击该选项，按住鼠标左键在视图区域内画一个方框，位移该方框内的单元或者网格会被选中；



图 4.25: Selection Controls



图 4.26: Selection Controls

：点击该选项，按住鼠标左键在视图区域内画一个方框，位移该方框内的质点或者结点会被选中；
：点击该选项，按住鼠标左键在视图区域内画一个方框，凡是可以投影到该方框内的单元或者网格会被选中；
：点击该选项，按住鼠标左键在视图区域内画一个方框，凡是可以投影到该方框内的质点或者结点会被选中。

VCR Controls

控制显示区动画的播放，对应的快捷操作如图4.26。动画播放按钮同时控制各个 3D View 的数据集。各个图标依次对应如下功能：
：点击，显示各个 3D View 中数据对象的第一帧数据；
：点击，显示各个 3D View 中数据对象当前帧的前一帧数据；
：播放/暂停动画；
：点击，显示各个 3D View 中数据对象的当前帧的下一帧数据；
：点击，显示各个 3D View 中数据对象的最后一帧数据；
：点击，循环播放动画；再次点击，停止循环播放。

Current Time Controls

显示动画的物理时间及当前帧数，对应的快捷操作如图4.27。对于 H5Part 数据文件，第一个框内显示的是时间；对于 vtu 文件，第一个框内显示的是帧数（因为 vtu 采用单个文件构成一个帧的数据）。最后一个框显示的是帧数，支持手动编辑，当给出一个帧的序列数后，按 Enter 键，即可在 3D View 中显示该帧数据。

Active Variables Controls

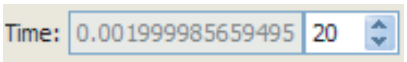


图 4.27: Current Time Controls

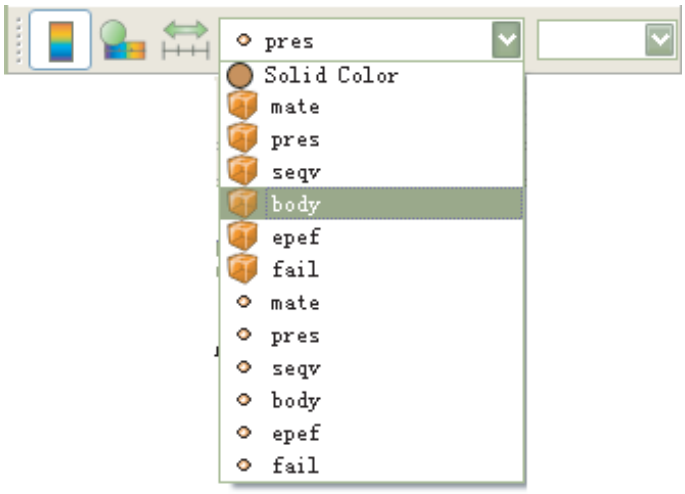


图 4.28: Active Variables Controls

控制 3D View 区显示的物理量及该物理量的显示区间、颜色标注图设置等，对应的快捷操作如图4.28所示。各个图标依次对应如下功能：

- Toggle Color Legend
  控制是否在图形区显示所选物理量的颜色标注图，对应的图标为。点击即显示，再次点击关闭。

- Edit Color Map
  用来设置颜色标注图的上下限及采用的色彩系列，对应的图标为。点击该图标即弹出对话框如图4.29，共分两部分：Color Scale 和 Color Legend，默认弹出为 Color Scale，点击 Color Legend，则切换到图4.30。
  Color Scale 用来设置颜色标注图的取值范围及取值方法和采用的色系。其中 Color Space 用来指定色系；若勾选 Automatically Rescale to Fit Data Range，则系统会依据视图当前帧物理量值的范围来作为色彩取值范围；若点击 Rescale Range，则可手动指定色彩显示的取值范围。设置完后，若点击 Make Default，则当前设置会成为默认设置，不会随帧的改变或者显示的物理量改变而改变；若点击 Close，采用此设置并关闭对话框。
  Color Legend 主要用来设置颜色标注图的注释设置及显示的颜色，具体请参考 ParaView 帮助文档。

- Rescale to Data Range 重置颜色标注图取值范围，对应的图标为。点击该选项，则调整当前的颜色和标注图的取值范围为当前帧的显示的物理量值范围。

- 选择显示的物理量名称
  物理量列表，对应的图标为

。通过其下拉菜单选择显示的物理量。其中表示是单元的物理量； 表示是质点的物理量。

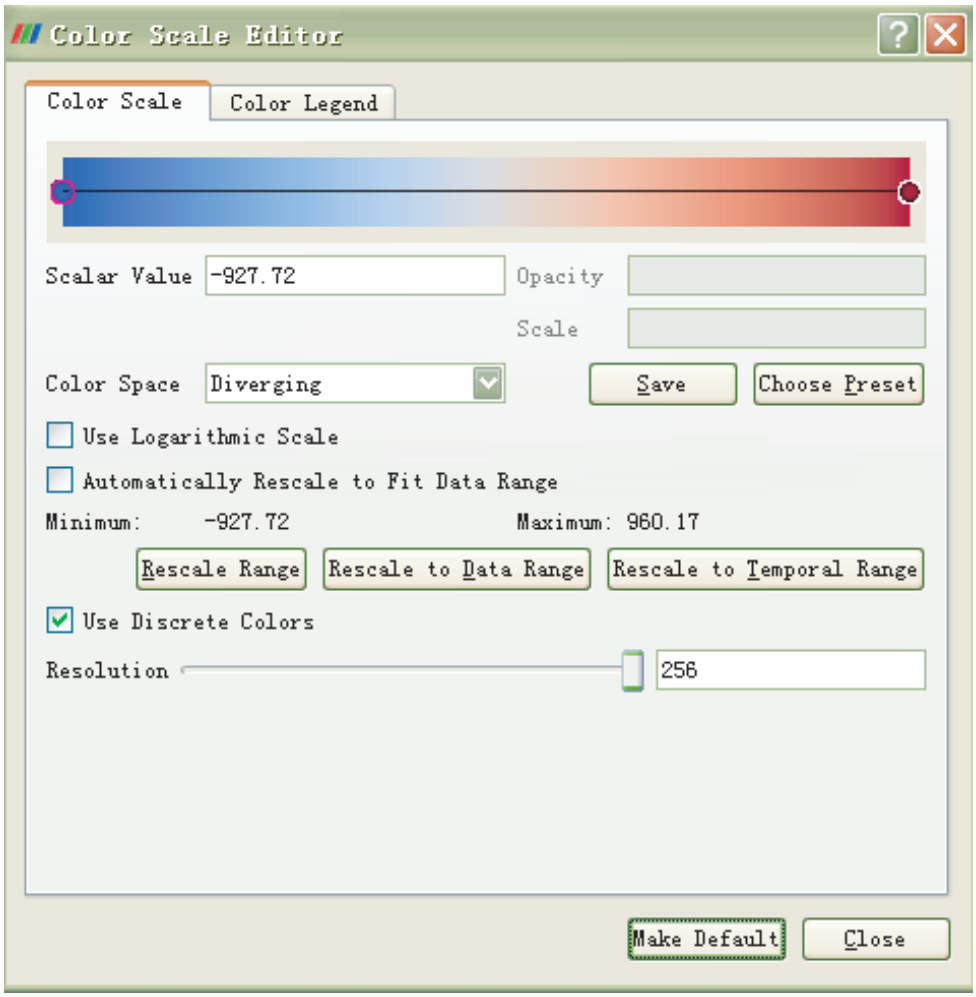


图 4.29: Color Scale Editor：Color Scale

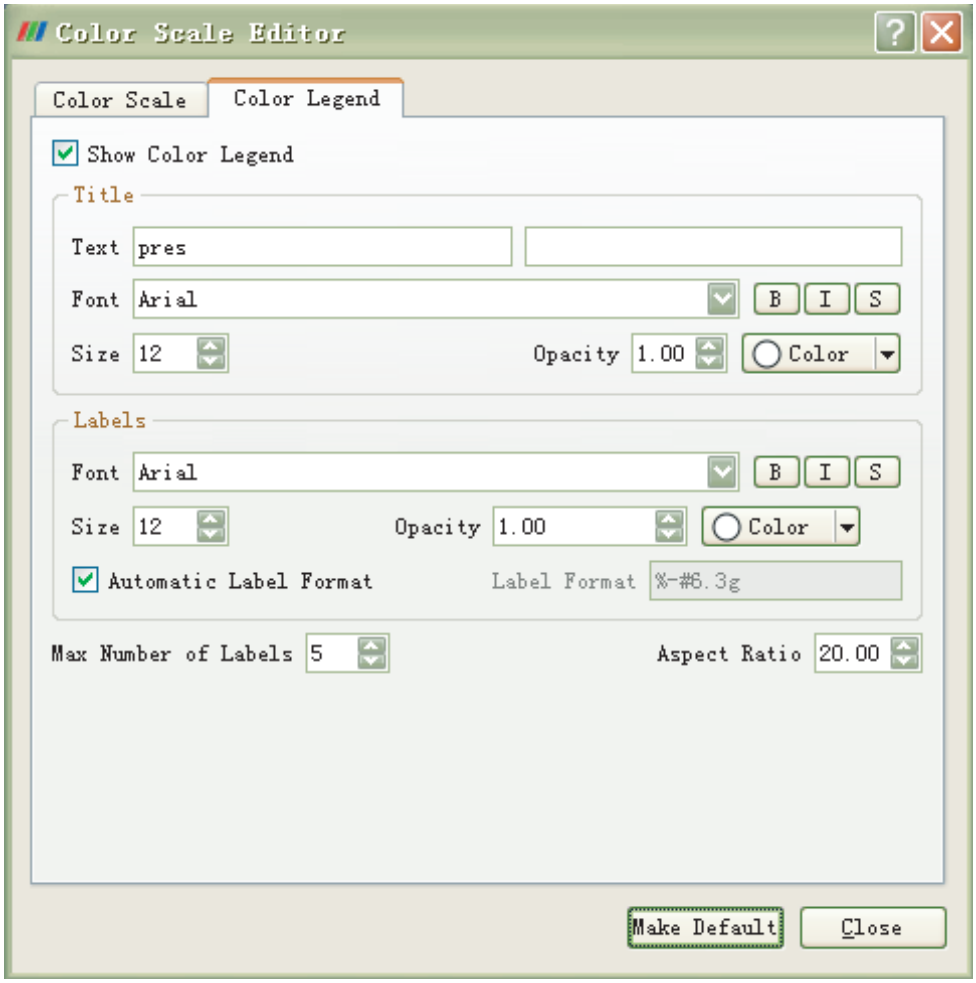


图 4.30: Color Scale Editor：Color Legend

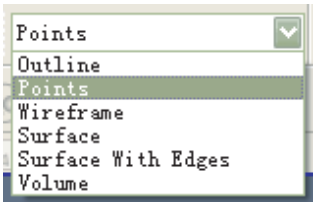


图 4.31: Representation Toolbar



图 4.32: Camera Control

Representation Toolbar

控制在图形区显示的数据类型的绘制方式，对应的快捷操作如图4.31所示。对应纯质点型数据对象，推荐使用 Points。

Camera Control

控制视图区相机的观察方位，对应的快捷操作如图4.32，仅作用于当前视图。

：点击，恢复视图区的全景显示；

：点击，按住鼠标左键在视图区拖动形成一个方框，则方框内选中的部分会被放大；

：点击，则视图会被调整成从 X 正向看过去的正视图，若图标上为 -X，则表示反向；

：点击，则视图会被调整成从 Y 正向看过去的正视图，若图标上为 -Y，则表示反向；

：点击，则视图会被调整成从 Z 正向看过去的正视图，若图标上为 -Z，则表示反向。

Center Axes Controls

控制显示坐标方位图和旋转中心的显示及设置，对应的快捷操作如图4.33，仅作用于当前视图。

：点击，显示坐标轴的方位图，再次点击，不显示坐标轴方位图。

：点击，显示视图中心，再次点击，不显示视图中心。该中心为视图区旋转中心。

：点击，则重新设置旋转中心。

：点击，用鼠标左键在视图区选择新的旋转中心。

Common



图 4.33: Center Axes Controls



图 4.34: common

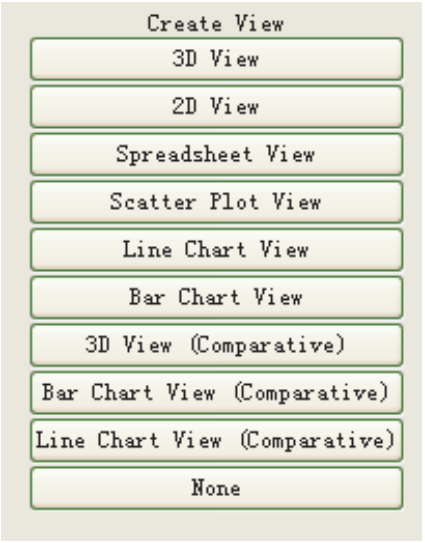


图 4.35: Create View

常用过滤器组合，对应的快捷操作如图4.34所示，各个图标对应的操作可对照 Filter 菜单中的内容。

4.8 Display Area

显示区可以显示云图、曲线图、列表等对应于管道列表中的数据对象，可以创建的 View 如图4.35所示。当前活动的 View 用蓝色边框标示。View 中显示的内容由 Object Browser 列表中的某个对象确定。多个数据对象可在同一个 View 中可见。

每种类型的 View 的标题栏中提供两组快捷操作如图所示，其中第一组操作依据不同类型的 View 会有所变化，第二组操作则是每种 View 都具有的。

第二组操作包括四种操作，分别对应如下：

- 水平拆分当前视图，依据具体需求点击相应的按钮形成具体的 View。
- 竖直拆分当前视图，依据具体需求点击相应的按钮形成具体的 View。
- 最大化当前视图，其标题栏中的后四个按钮全部隐藏，另外添加 Restore (复原) 按钮，用于将该视图恢复到原来的尺寸。
- 关闭当前视图。

下面着重介绍 3D View 和 Spreadsheet View。

4.8.1 3D View

三维图形区如图4.36所示，用于显示各类三维图形。每个 3DView 均具有自己独立的相机，可以独立地从不同角度观察模型。有时为了比较同一个模型的不同类结果 (如压力和温度)，将该模型的压力和温度分别显示在不同的 3D View 中，实现从不同角度同时观察同一个数据对象。

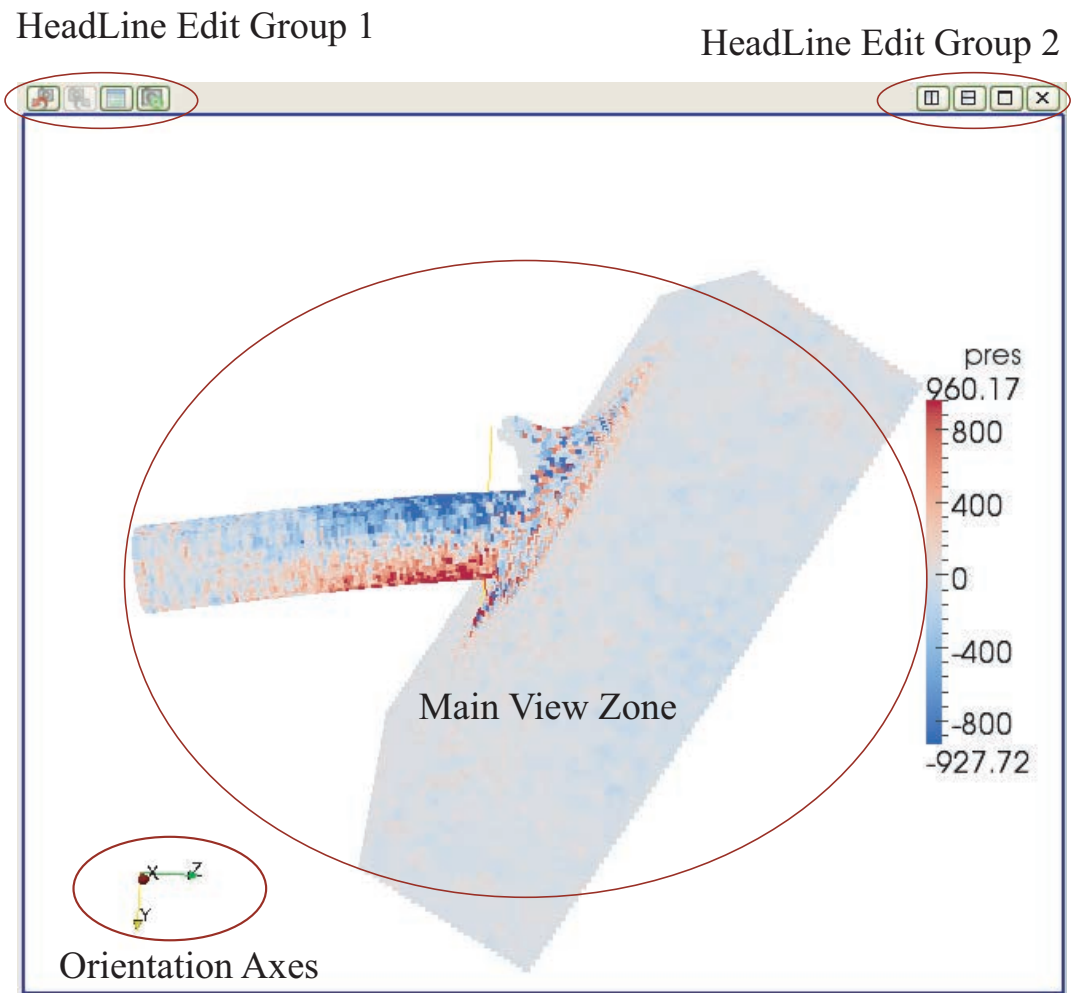


图 4.36: 3D View

鼠标交互方式

左鼠标键拖动：旋转模型
右鼠标键拖动：平移模型
滚动鼠标滚轮：放大/缩小模型

标题栏操作组 1

- ：点击，取消本次图形的调整；
- ：点击，执行取消操作后方可用，执行下一次图形的调整；

- ：点击，弹出编辑框，对应于 Edit 菜单下的 View Settings 操作；
- ：点击，弹出对话框如图所示，调整相机属性，如平移、旋转等。

方位坐标轴

方位坐标轴（Orientation Axes）位于图形区左下角以描述当前模型的观察方向。用户可通过鼠标拖动该坐标轴将其移动到视图中任何一个角落。每个 3D View 中有一个中心坐标轴(Central Axes)，其原点位于旋转中心，三个轴分别与方位坐标轴平行。

4.8.2 XY Plot View

曲线图形区如图4.38所示，用于显示各类二维曲线。

鼠标交互方式

左鼠标键拖动 – 平移曲线；右鼠标键拖动 – 放大拖动形成的矩形区域内的曲线；滚动鼠标滚轮 – 整体放大/缩小曲线；

标题栏操作组 1

- ：不可用；
- ：不可用；
- ：图标属性页，可用修改标签、图例和坐标轴范围等属性，如图所示4.39。

4.8.3 Spreadsheet View

数据表区，如图所示4.40，用于以列表的形式显示各类数据，如当前帧中各质点的计算结果。本视图区的标题栏中只有控制窗口拆分的四个按钮。

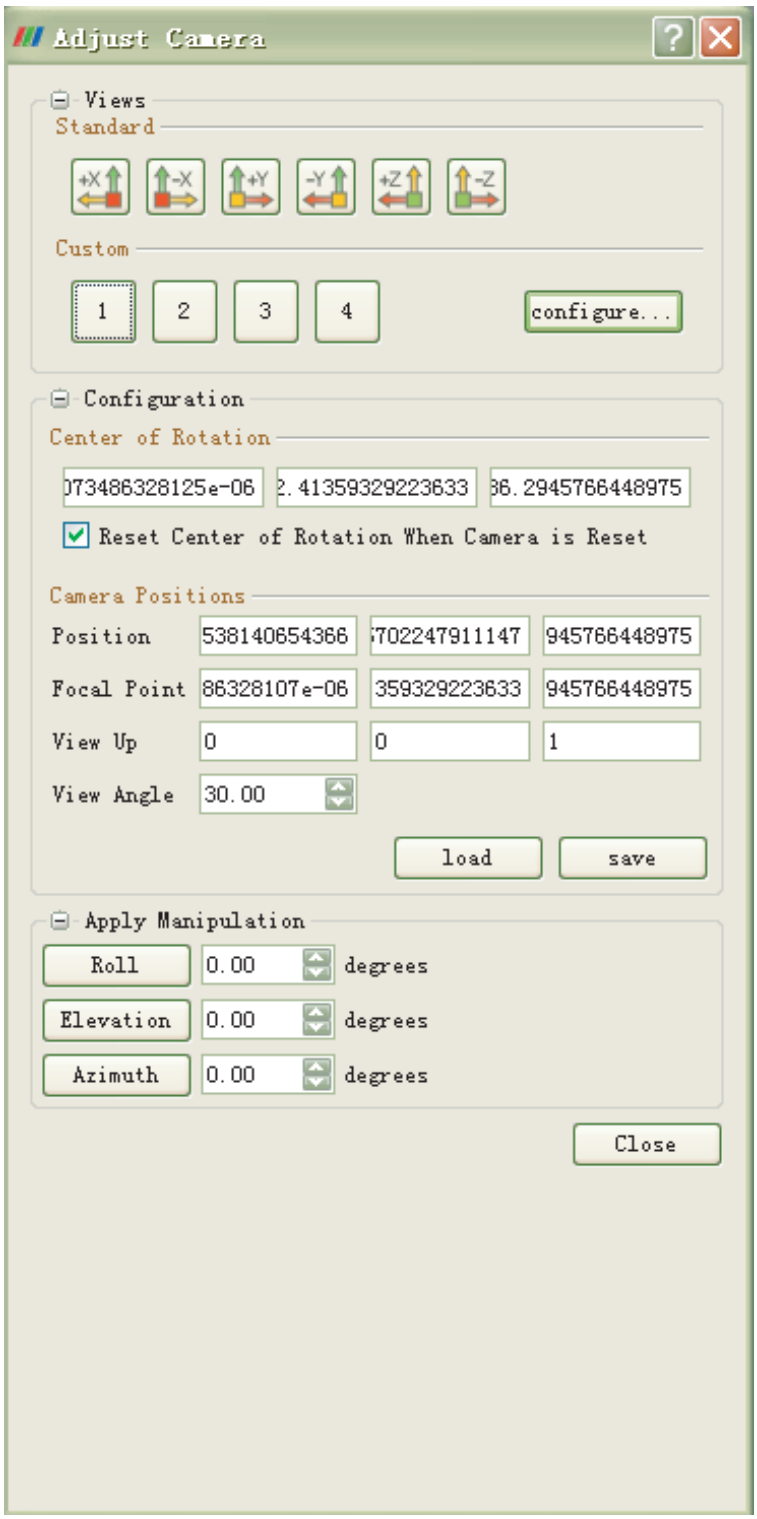


图 4.37: Adjust Camera

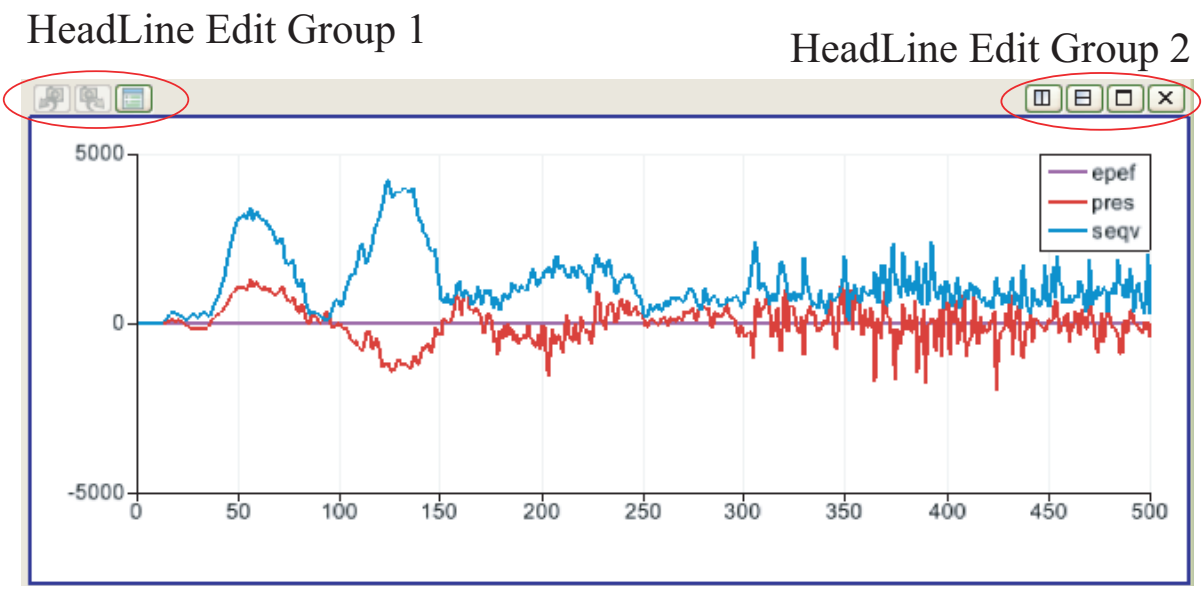


图 4.38: XY Plot View

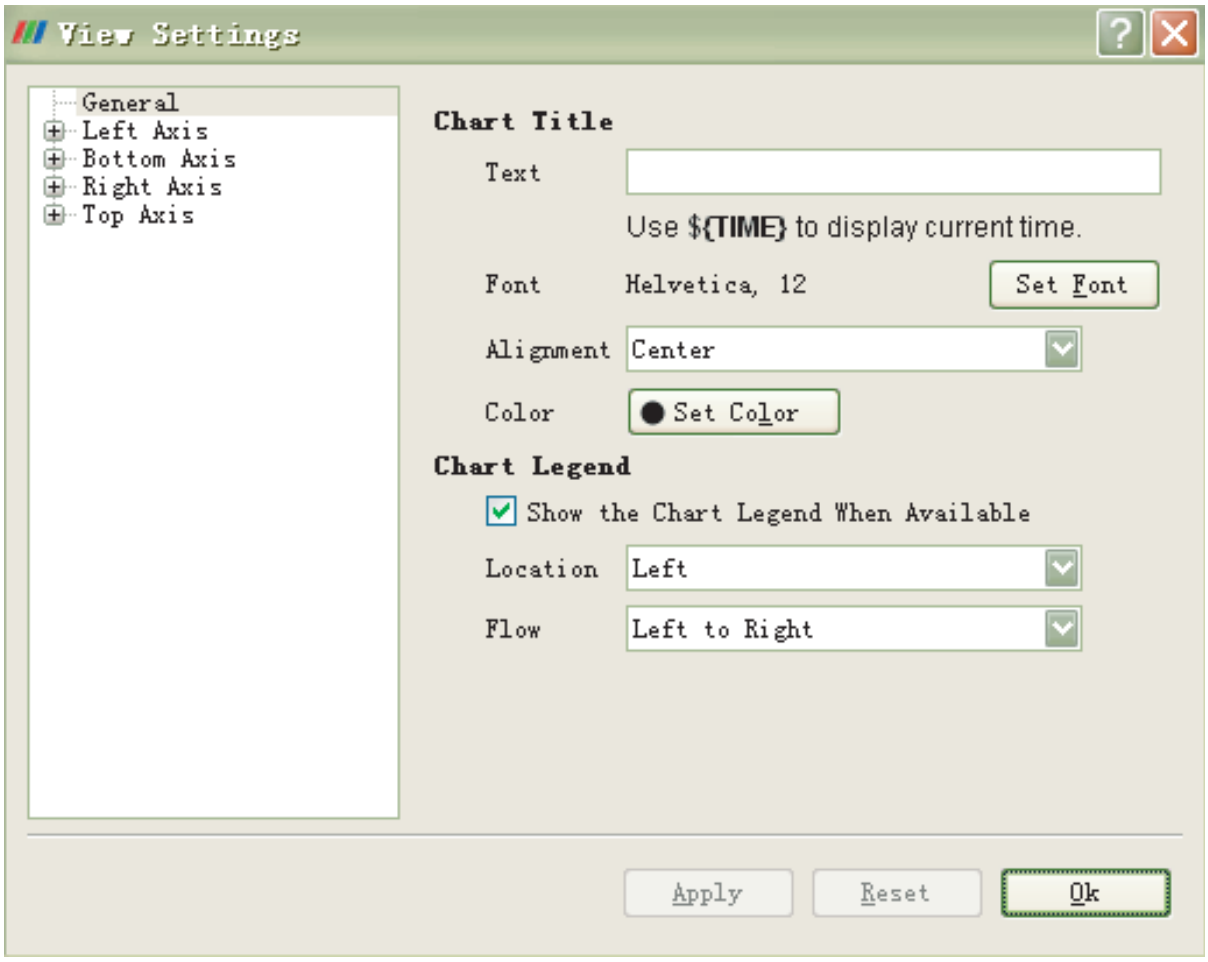
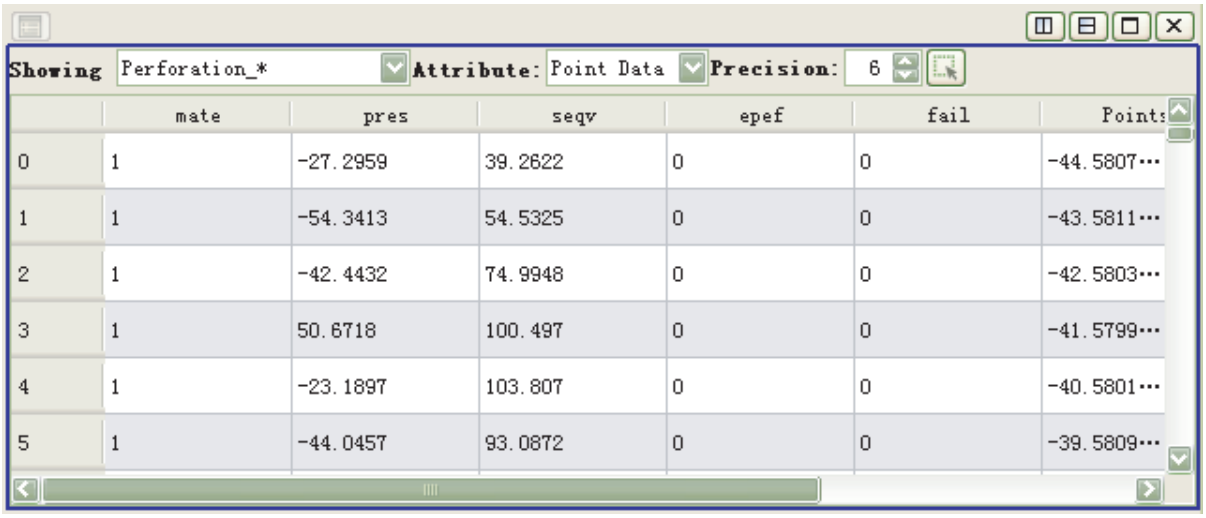


图 4.39: 图表属性页



	mate	pres	seqv	epef	fail	Points
0	1	-27.2959	39.2622	0	0	-44.5807…
1	1	-54.3413	54.5325	0	0	-43.5811…
2	1	-42.4432	74.9948	0	0	-42.5803…
3	1	50.6718	100.497	0	0	-41.5799…
4	1	-23.1897	103.807	0	0	-40.5801…
5	1	-44.0457	93.0872	0	0	-39.5809…

图 4.40: Spread Sheet View

第五章　PeneBlast 入门指南

为方便用户尽快学会使用 PeneBlast 系统，本章通过几个算例详细介绍了本软件的使用过程，其中着重对斜侵彻算例的建模、求解以及后处理过程进行了描述。另外, 还提供了 Taylor 杆、二维 TNT 爆轰、破碎、钢弹侵彻混凝土、Gurney 飞片、聚能射流的算例，它们均从算例描述、任务定义、材料定义、组件设置、网格设置、接触设置、起爆设置、求解设置、输出设置、检查修改输入文件和计算监测等几个部分介绍了 PeneBlast 系统在求解具体问题时的使用过程。

5.1 斜侵彻算例指南

5.1.1 模型概述

该算例模拟的是一个动能弹以初始速度 575m/s 侵彻一块铝板，用于研究动能弹的穿甲性能，比较关心动能弹穿甲前后的速度。该动能弹是一个具有卵形弹头的圆柱体，材料为钢，靶体材料为铝。该算例模型相应的尺寸为：

1. 弹体的圆柱体部分直径为 12mm，长度为 89mm，卵形弹头端部半径为 6mm，外表面半径为 18mm；

2. 靶体的厚度为 26mm，长 96mm，宽 100mm；

3. 弹体着靶倾角为 30 度。

该算例中，单位制采用 mm ms g

模型示意图如图5.1所示。：

图 5.1: 模型示意图

材料参数

根据试验情况，一般情况下弹体的磨损相对来说较少，而靶体的损伤很严重。故在该算例模拟中各个物体采用的材料模型见下：

1．弹体采用各向同性弹塑性模型，在 MPM3DPP 程序中对应的是 IsoHarden 材料，材料参数值见图??设定值；

2．靶体采用 Johnson-Cook 材料模型，状态方程为 Gruneisen 状态方程，失效为最大等效塑性应变模型 PlaStrain，相应的参数值参见图??设定值；

建模方法

具体建模过程中有如下几点关键考虑：

1．该模型具有对称形，为提高计算效率，可取一半模型进行建模；

2．由于前处理不能一次生成弹体，故该一半的弹体模型需分开生成，即先建立一半的圆柱体，再建立一半的卵形体，由此二体合成弹体模型；

3．由于不能直接生成倾斜的长方体，故需先定义一个平移旋转后的工作平面，然后在此工作平面（局部坐标系）中建立靶体模型；

4．该算例应启用接触算法，故要建立两个组件，上述各个离散体均需归入相应的组件；

5．在该算例中，背景网格尺寸取为$2 \times 2 \times 2$mm，质点间距取为1mm 。

步骤总述

该算例的流程主要分三部分，第一部分是前处理，用来生成 MPM3DPP 程序能够读取的 *.xmp 文件；第二部分用 Peneblast 系统调用 MPM3DPP 程序读取相应的数据文件并执行计算；第三部分为后处理，利用 Paraview 对生成的数据文件进行各种数据处理。下面简要列出操作步骤。

- 前处理

  1 指定工作路径、任务名称、单位制等；

  2 定义材料模型；

  3 建立离散模型

  4 定义背景网格

  5 定义接触算法

  6 指定输出选项

  7 指定求解选项

  8 输出定义文件

- 求解计算

  1 设置执行控制

  2 执行计算

- 后处理

  1 读取求解结果

  2 动画演示

  3 选择质点

  4 切片、切块，查看内部质点

5.1.2 前处理

Step 1 指定工作路径、任务名称、单位制

前处理的功能是定义供 MPM3DPP 程序读取的输入文件，故一般需要给该文件指定一个保存路径、文件名称以及对算例的一些简单描述；同时需要指定该问题求解所采取的单位制。打开 Penbalst 程序，对 Job Browser 内 Job1 的 Job Properties 进行编辑，如图5.2所示。

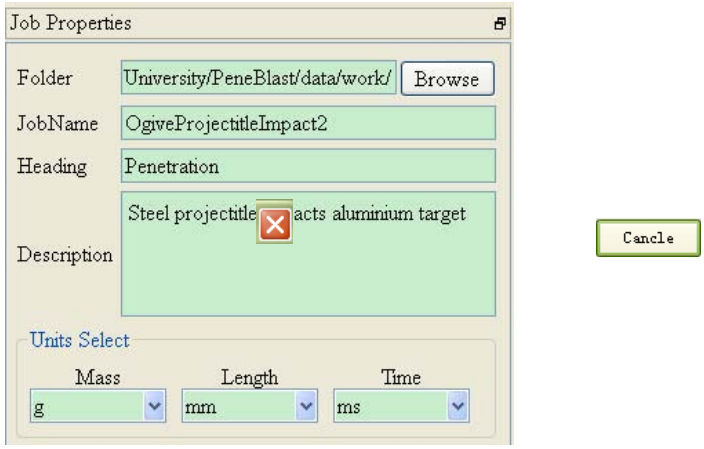


图 5.2: 工作属性

Step 2 定义材料模型

在此定义该算例中所涉及到的所有材料模型，材料模型的定义方式有多种，可直接使用材料库已有的材料、修改材料库中的材料作为新的材料或者直接新建一种材料。本算例中只用到两种材料模型，在此采用新建的方式进行定义，下面一一说明。

1. **Models->Material** 弹出如图5.3所示对话框；

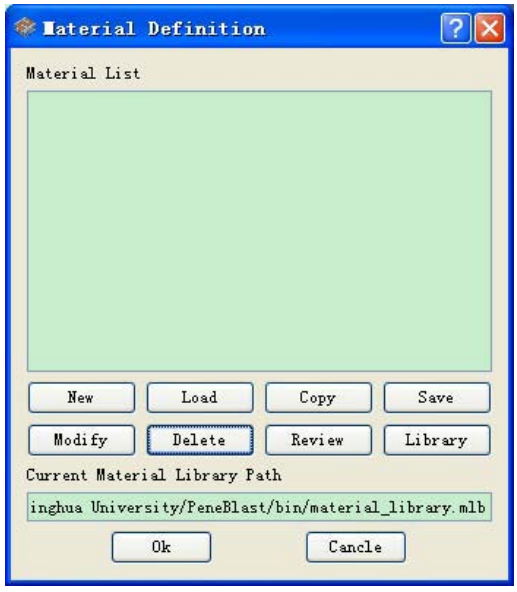


图 5.3: 材料定义对话框

2. 点击 **New**，出现如图5.4所示对话框；

在此可指定材料的名称、密度、强度模型、状态方程和失效等参数值。分别用相应的下拉菜单找到使用的材料模型，填写相应的材料参数即可，填写完毕后点击 按钮则相应参数值被读入，退出点击左上角 ，取消当前设定点击 按钮。对于本算例采用的两种材料模型填写如下图5.5和图5.6。

Step 3 定义离散模型

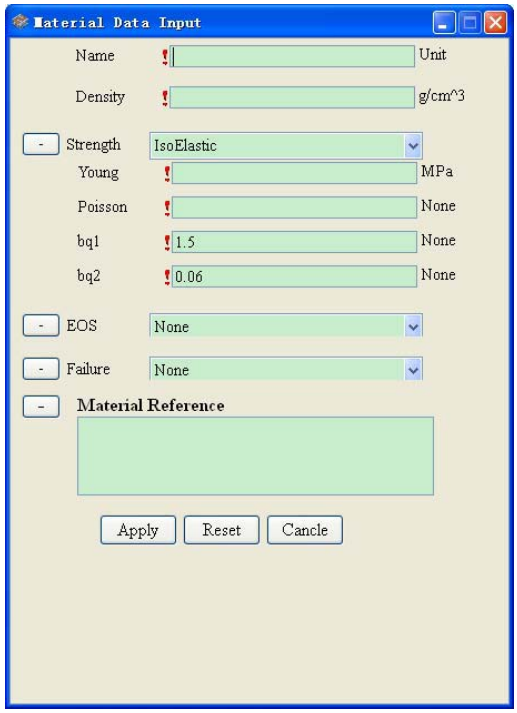


图 5.4: 新建材料对话框

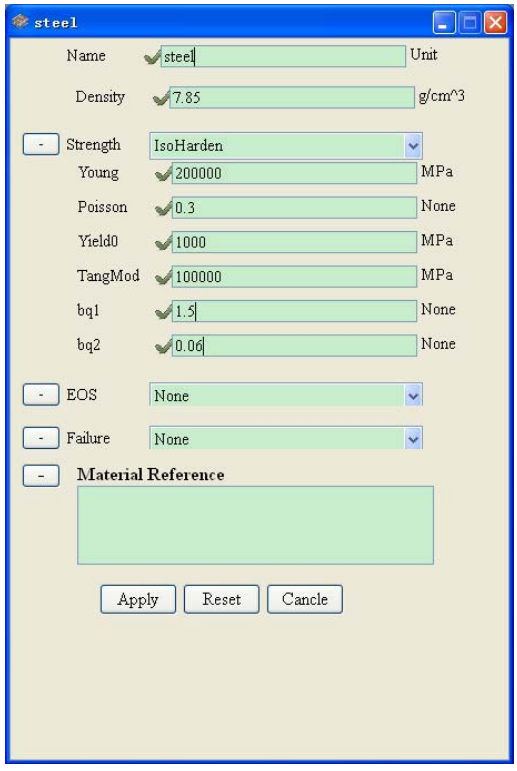


图 5.5: 铁材料模型参数设置

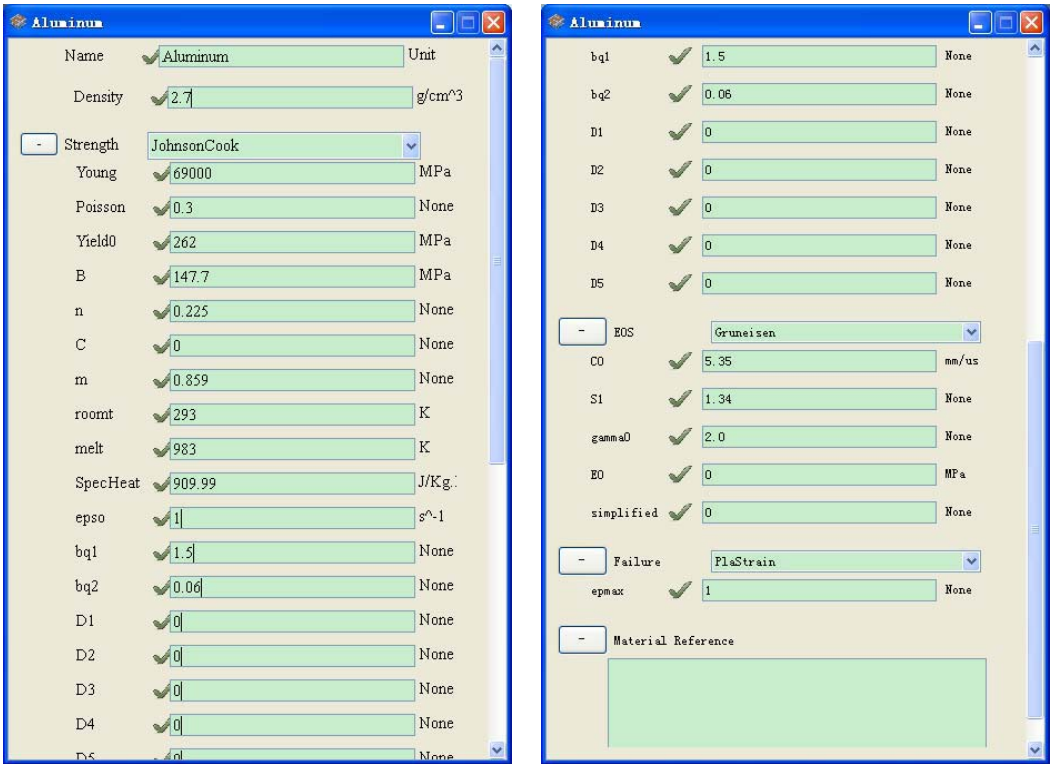
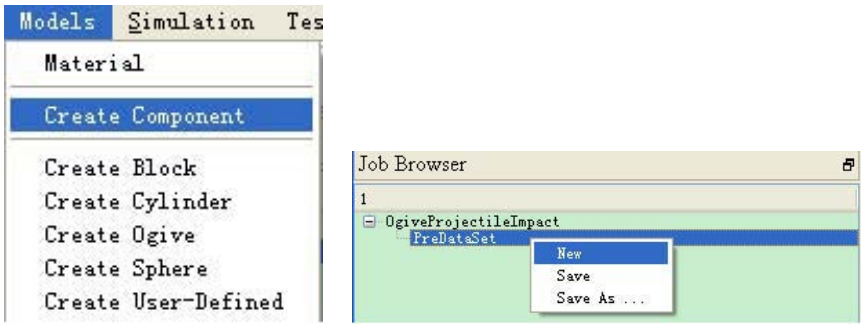


图 5.6: 铝材料模型参数设置

对于本算例，需要建立两个组件以启用接触算法。弹体设为组件 projectile，靶体设为组件 target，各个离散模型需在指定的组件下生成。其中弹体的建立稍微复杂，由于该弹体为卵形弹，需要分别建立弹身和弹头。只要弹头和弹身的离散质点最近处间隔不超过一个网格的尺寸则认为两者是一体的。由于该问题的对称性，故只需建立一半的模型即可。

1. 建立组件 projectile

可以通过工具栏 **Models->Create Component** 或者右击 PreDataSet 选择 **New** 来建立组件，分别如图5.7(a) 和图5.7(b)所示。在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 projectile。



(a) 创建组件方法 1　　(b) 创建组件方法 2

图 5.7: 新建组件

2. 在组件 projectile 下建立弹身离散体

该弹身为圆柱体，在此建立其一半模型。

2.1 选中 projectile

2.2 点击 **Models->Create Cylinder**，或者右击 PreDataSet 选择 **New Cylinder** 来创建圆柱体，别如图5.8(a) 和图5.8(b)所示。



(a) 创建 Cylinder 方法 1　　(b) 创建 Cylinder 方法 2

图 5.8: 新建圆柱

之后在界面左侧出现如下图5.9所示的界面，共分三部分。第一部分 Properties 属性页用来填写几何信息，第二部分 Load Setting 属性页用于设置荷载参数，第三部分 Display 属性页用来设置显示参数，第四部分 Discretization 属性页用来设置离散参数。

2.3 填写 Properties 页面属性值，如下图5.9 所示。

2.3.1 在 size 框填写几何信息，具体意义参见手册；

2.3.2 在 Velocity 框指定该物体的初始速度，此时靶体在弹体的上方，故如图 5.9 填写；

2.3.3 在 material 指定该物体的材料模型为 Steel；

2.4 点击 Discretization 按钮进行离散设置，该处主要用来进行质点间距设置，如下图5.10所示。

建立的弹身模型如5.11所示。

3. 在组件 projectile 下建立半卵形体离散模型。

3.1 用鼠标左键点击 projectile，选中该组件；

3.2 点击 **Models->Create Ogive**，或者右击 PreDataSet 选择 **New Cylinder** 来创建卵形体，别如图5.12(a) 和图5.12(b)所示。

3.3 填写 Properties 页面属性值，如下图5.13所示。

3.4 点击 Discretization 按钮，进行离散属性页进行离散参数设置，如图5.10所示，与弹身情况相同。

建立的弹头模型如5.14所示。

4. 鼠标左键点击组件 projectile，即可在视窗右侧看到建立的完整弹体的一半模型，如图5.15所示。

5. 建立组件 target

由于本算例模拟斜侵彻，靶体建模时需用到工作平面，首先在 PreDataSet 属性页中的 WorkPlane 中定义工作平面，如图5.16所示。定义工作平面 WorkPlane1，具体参数见表5.1所示，参数意义见 MPM3D 用户手册。

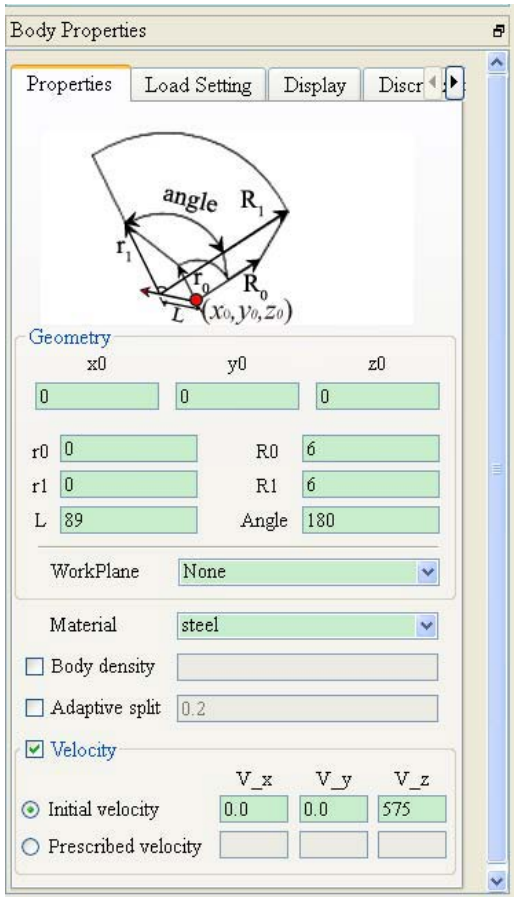


图 5.9: Properties 属性页设置

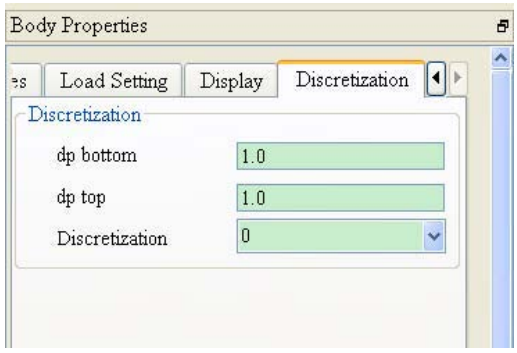


图 5.10: 弹身离散设置

表 5.1: 工作平面参数

Name	r0x	r0y	r0z	ex	ey	ez	all	a21	a31
WorkPlane1	90	0	70	-1.732	0	1	1	0	1.732

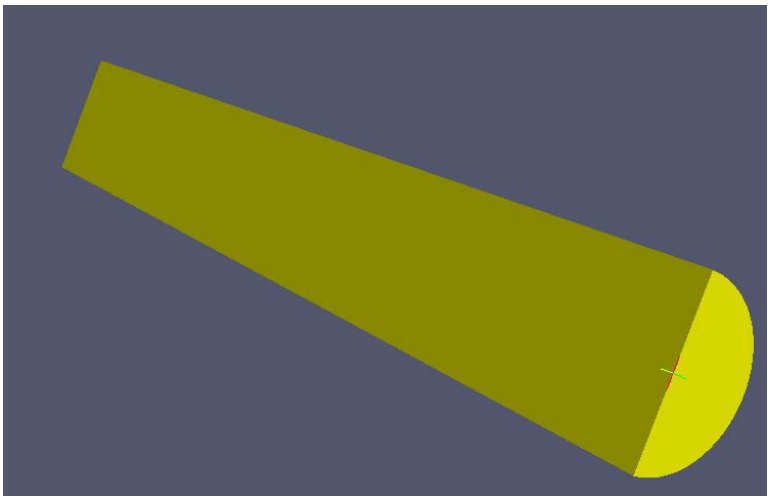
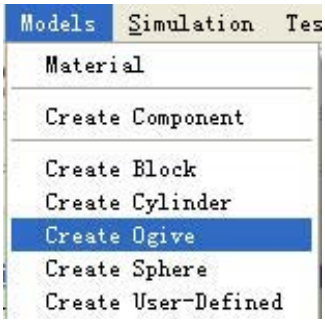
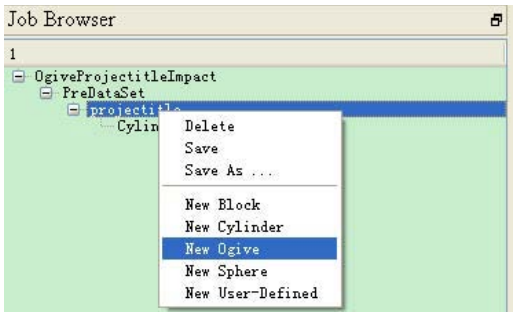


图 5.11: 弹身模型



(a) 创建 ogive 方法 1



(b) 创建 ogive 方法 2

图 5.12: 新建卵形体

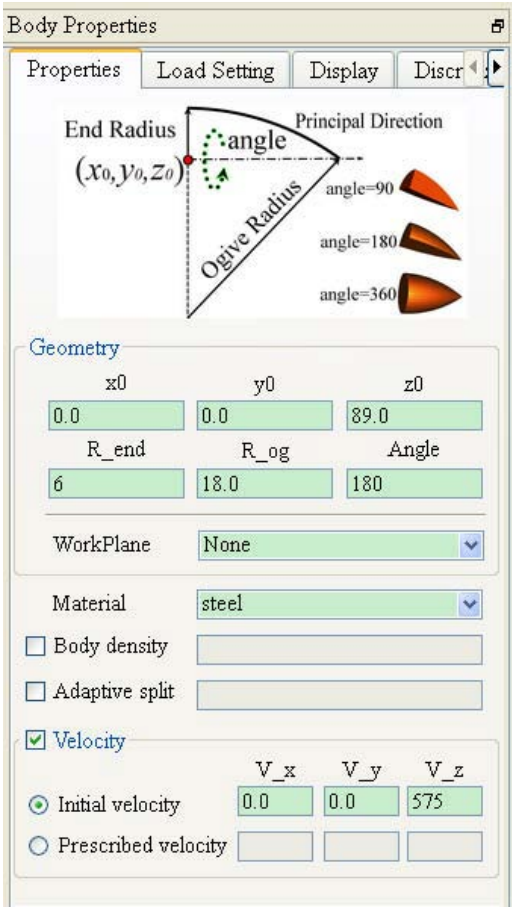


图 5.13: ogive 属性页设置

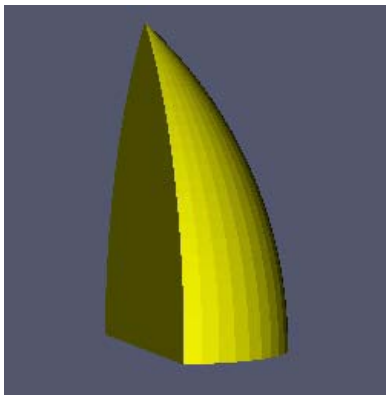


图 5.14: 弹头模型

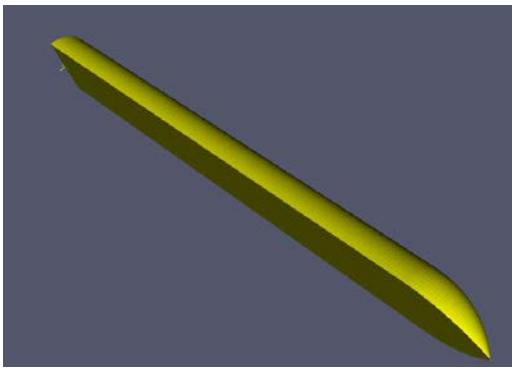


图 5.15: 弹体模型

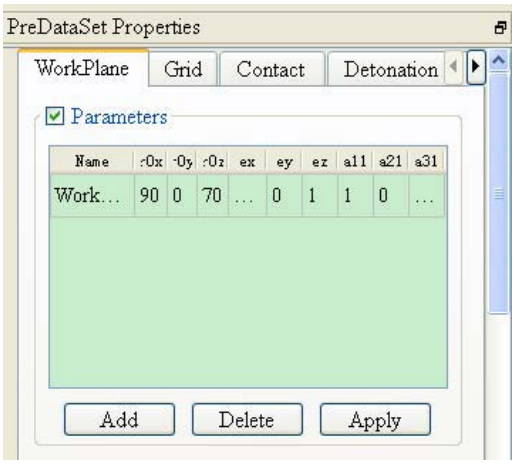


图 5.16: 定义工作平面

Models->Create Component，或者右击 PreDataSet 选择 **New** 来建立靶体组件，在 PreDataSet 下出现 component2，双击 component2 将其修改成 target。

6. 在组件 target 下建立靶体模型

6.1 选定组件 target：

6.2 点击 **Models->Create Block** 或者右击 target 选择 **New Block** 来创建长方体，此时在视窗的左侧显示定义 Block 的属性页，如图5.17所示。

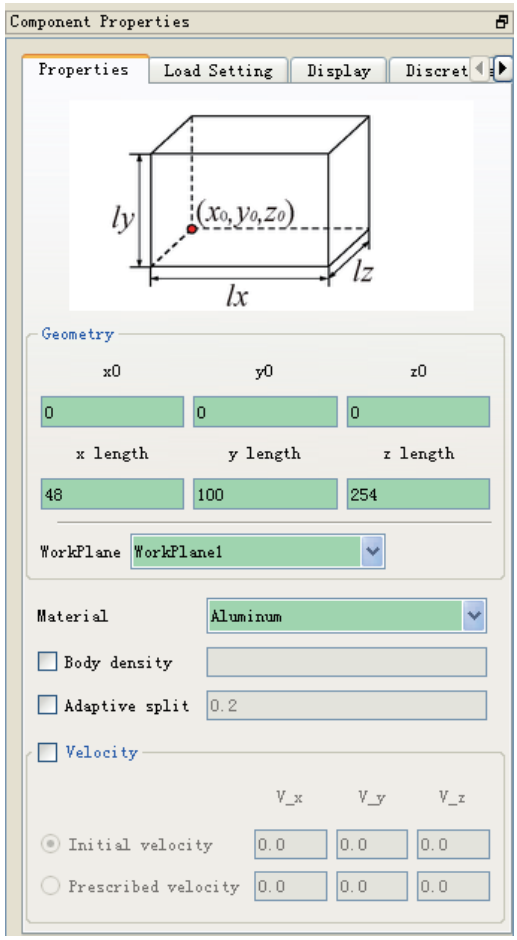


图 5.17: Block 属性页设置

6.3 点击 Properties，进入该属性页进行几何参数设置及初始速度设定，如图5.17所示。

6.3.1 在 Block size 框填写几何信息；

6.3.2 在 WorkPlane 下拉框中选择 WorkPlane1；

6.3.3 在 material 框选择 Aluminum 材料；

6.3.4 Velocity 复选框不勾选；

6.4 点击 Discretization 选项卡，进入该属性页设定参数离散参数，在此 dp 值为 1，具体离散过程程序会自动计算完成。设置如图5.18所示。

生成靶体如图5.19所示。

至此，离散模型已经全部建完，点击 PreDataBase 查看整体模型见图5.20所示，下面进入 PreDataBase 属性页设置。

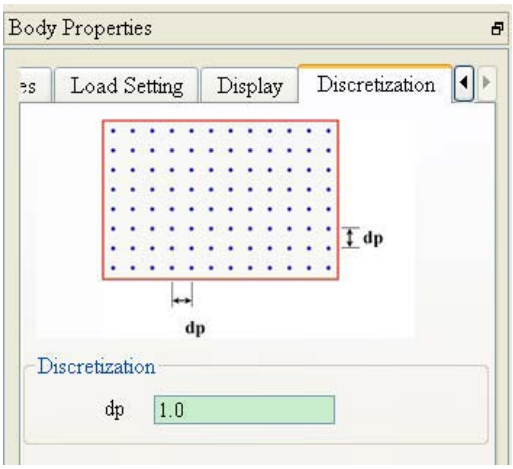


图 5.18: 靶体离散设置

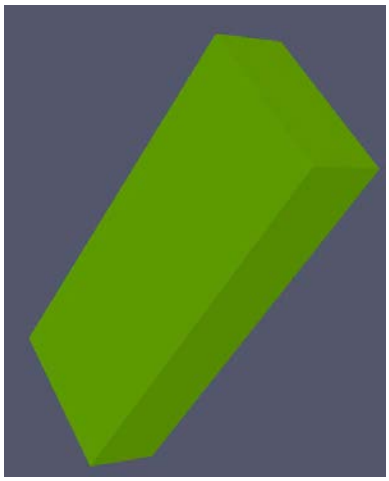


图 5.19: 靶体模型

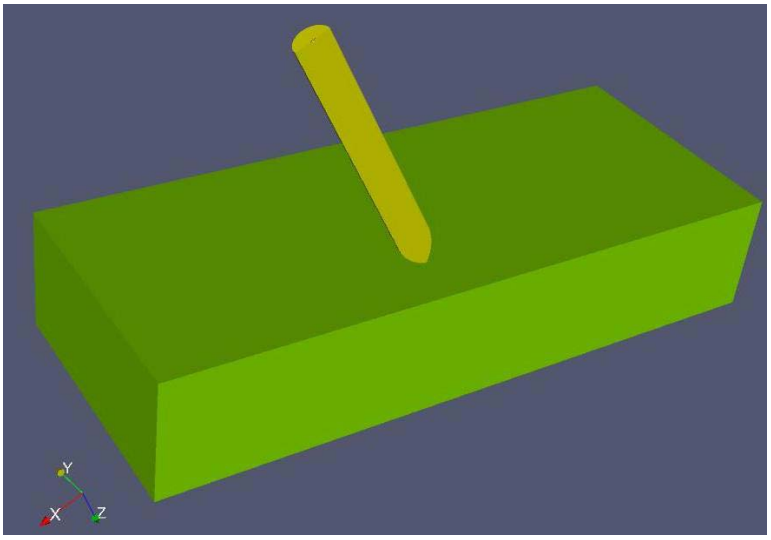


图 5.20: 整体模型示意图

Step 4 设置背景网格

原则上，背景网格作为应该完全覆盖在模拟的物理时间内物体的运动范围。如果采用移动网格，则视具体情况至少覆盖物体初始时刻占据的空间位置。本算例，在此采用动态网格，网格区域要覆盖物体的运动范围。在此，还应设置相应的边界条件，及是否采用 GIMP 形函数。具体如下。

4.1. 点击视窗左侧的 PreDataSet，在此下方 Job Properties 可以进行 Grid 的相关设置，点击 Grid 进入背景网格设置页面，根据本算例的具体情况，相应的边界尺寸及边界条件具体设置如图5.21所示。

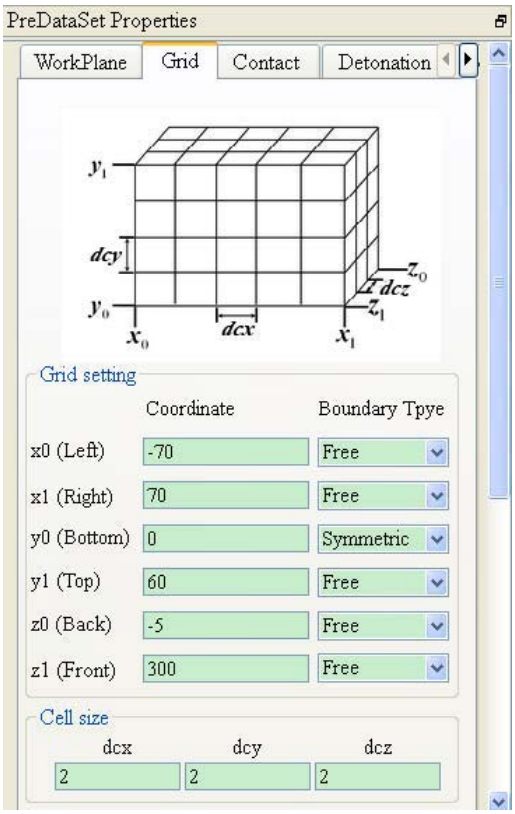


图 5.21: grid 离散设置

4.2 在 Grid 属性页设置背景网格离散尺寸，如表5.2。

表 5.2: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	-70	Free
x1(Right)	70	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	60	Free
z0(Back)	-5	Free
z1(Front)	300	Free

4.3 在 Grid 属性页设置网格间距为 $2 \times 2 \times 2$

4.4 在 Grid 属性页设置启用动态网格，以便计算时节省内存，如图5.22

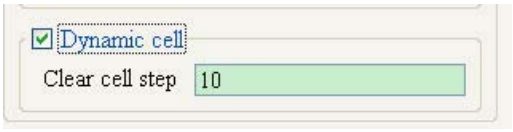


图 5.22: 动态网格设置

至此，背景网格的相关参数根据本算例的具体情况设定完毕。

Step 5 开启接触算法

本算例建立了两个组件，配合启用接触算法。因此前处理需打开接触功能，同时本算例不考虑摩擦。

点击 Contact，进入相关参数设置页面，如图5.23所示。

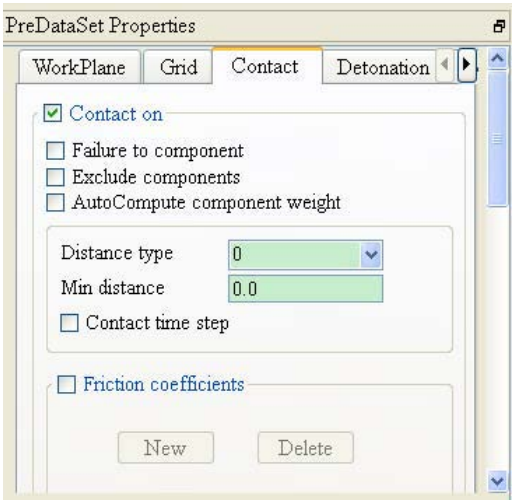


图 5.23: 接触设置

另外这里手动设置弹体和靶体接触算法计算时的权重，分别选中组件 projectile 和 target，在各自的 Component Properties 下进行设置，这里弹体的权重要大些，弹体和靶体的权重设置分别如图5.24(a)和图5.24(b)所示。

Step 6 设置输出选项

在此，设置在后处理文件中需要观察的物理量、输出文件个数以及控制台监控的时间间隔。

6.1 点击 Output 按钮，进入相应的属性页，如图5.25所示；

6.2 设置 Console output 参数值，对于本算例该设置见图5.25所示；

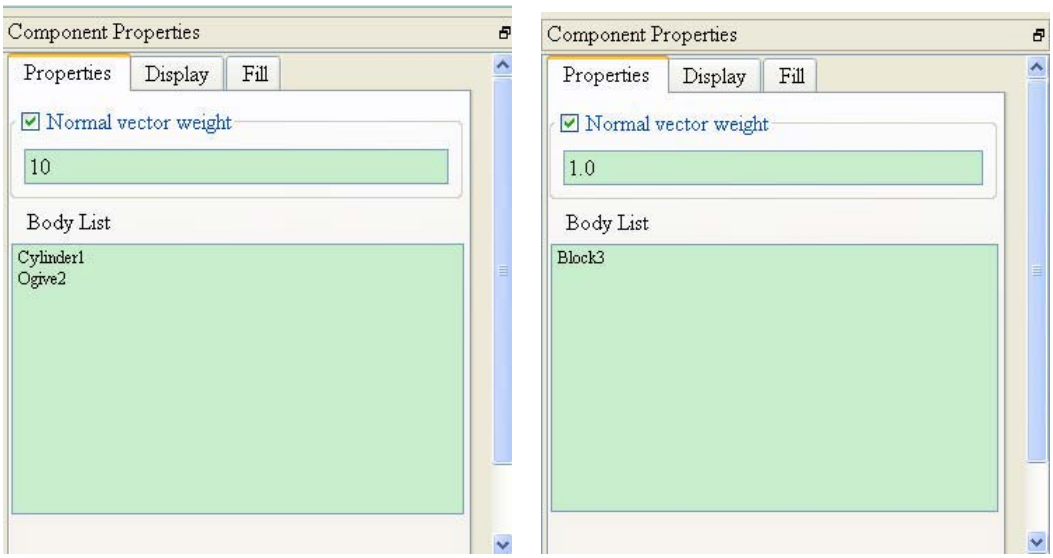
6.3 选择要观察的物理量，在其前面方框内打钩即可，对于本算例该设置见图5.26；

6.4 选择输出的文件格式，及输出时间间隔，对于本算例设置见图5.26；

至此，本算例的输出选项设置完毕。

Step 7 设置求解选项

在此进行设置有关求解的一些的设置，以及重力场的施加。



(a) 弹体权重设置 (b) 靶体权重设置

图 5.24: 组件接触权重设置

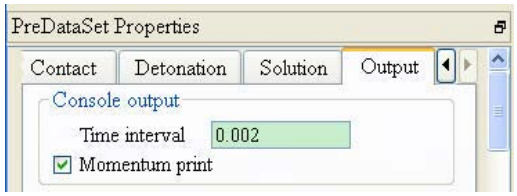


图 5.25: 输出设置

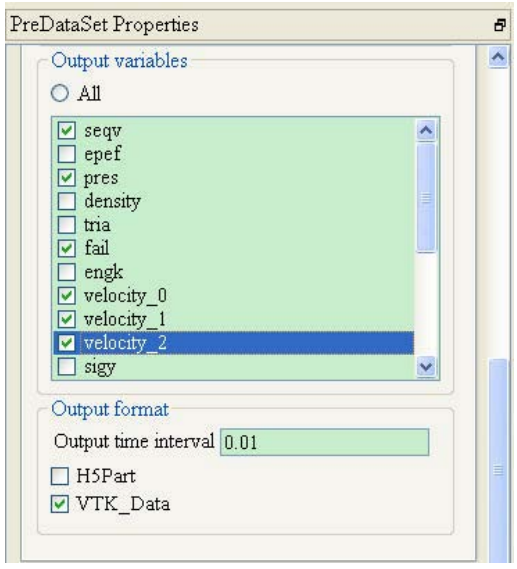


图 5.26: 输出设置

7.1 点击 Solution 按钮，进入该属性页，如图5.27；

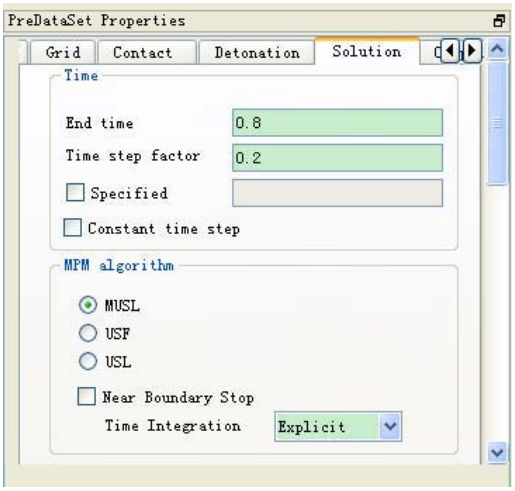


图 5.27: 求解设置

7.2 设置模拟物理时间 End time 为 0.8 及时间步长因子 Time step factor 为 0.2，对于本算例的设置见图5.27；

7.3 设置积分格式 MPM algorithm，对于本算例，选用 MUSL 格式；

至此，有关求解的选项设置完毕。

Step 8 保存输入文件

以上 7 步构成了本算例前处理的基本步骤，现把所做的工作保存到 MPM3DPP 程序能够读取的后缀为 xmp 文件中。

点击 **File->Save Job**，将文件保存到当前的工作路径，如图5.28所示，生成 OgiveProjectitleImpact.xmp 输入文件。同时也可右击 Job Browser 中的任务，选择 Save 完成此操作。



图 5.28: 保存输入文件

Step 9 检查编辑输入文件

点击菜单栏 **Simulation->Edit Input Data** 编辑输入文件，如图5.29所示，

由于本算例不考虑铝板的损伤，需将 JohnsonCook 模型中的相关参数 D1，D2，D3，D4，D5 删除。双击 JohnsonCook 模型，进入如图5.30所示编辑框，选中相应的变量，点击“-”号按钮，单击 OK 推出后，保存输入文件。

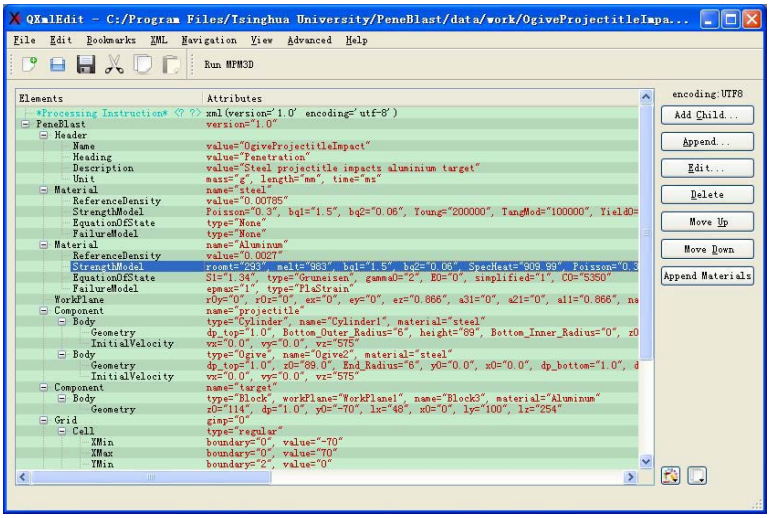


图 5.29: 打开输入文件

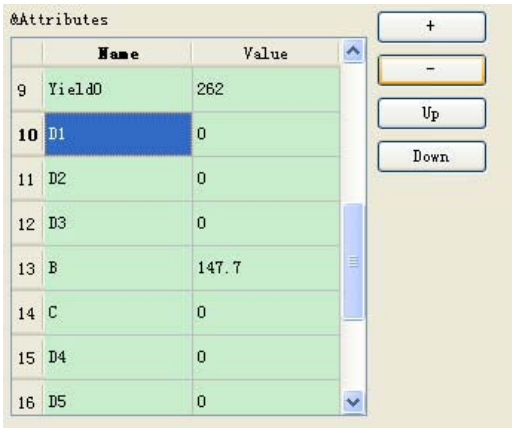


图 5.30: 编辑输入文件

点击 **Simulation->check Input Data** 检查输入文件，弹出对话框，如图5.31，表明 xmp 通过格式检查。

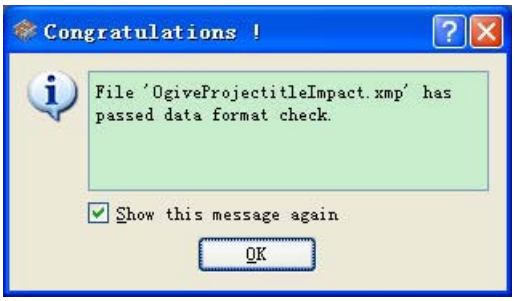


图 5.31: 通过检测

5.1.3 求解计算

Step 10 执行计算

1. **Simulation->Real time monitor** 打开计算实时监控。

2. **Toolbar->Start**，执行计算，计算监控画面如图5.32所示。

3. 计算过程中可暂停、终止计算进程和改变 XY Plot 变量。

4. 计算进程暂停后，可点击”Save Restart Files”保存重启动状态文件。

5. 如从中断状态继续进行计算，在选项界面加载重启状态文件，如需重启动命令文件 (*.rmp)，一并设定。

Step 11 读取求解结果

使用 Paraview 软件进行后处理，读取求解输出文件

Menu->File->Open 载入结果文件，如图5.33所示。

1. 按下工具栏上的工作按钮 观看尖头弹斜侵彻铝靶过程，如图5.34所示。

2. 在变量复选框选择 fail，查看质点失效状况，如图5.35所示。

3. 用 Select Points Through 选择质点。然后从过滤器菜单中选择 **Extract Delection**，点击属性页的 **Copy Active Selection**，得到所选质点。

Spreadsheet view 是用来连接数据选择和数值分析的重要工具。它允许用户查看标量域的实际值，选择机制帮助用户识别感兴趣的值。

使用 或 把视图分成两半。

在新视图中点击”Spreadsheet View”按钮，监测选择所选数据集，点击 可使得选数据集可见，操作实例见图5.36所示。

4. Paraview 拥有绘制时间序列域值曲线图的能力，绘图操作主要在数据选择基础上进行。首先选择数据集，点击菜单 **Filters->Data Analysis->Plot Selection Over Time**，在 Object Inspector 中，点击”Copy Active Selection”，最后点击 ，即可得到所选粒子相关变量的时程曲线，如图5.37所示。

5. 切片、切块，查看内部质点

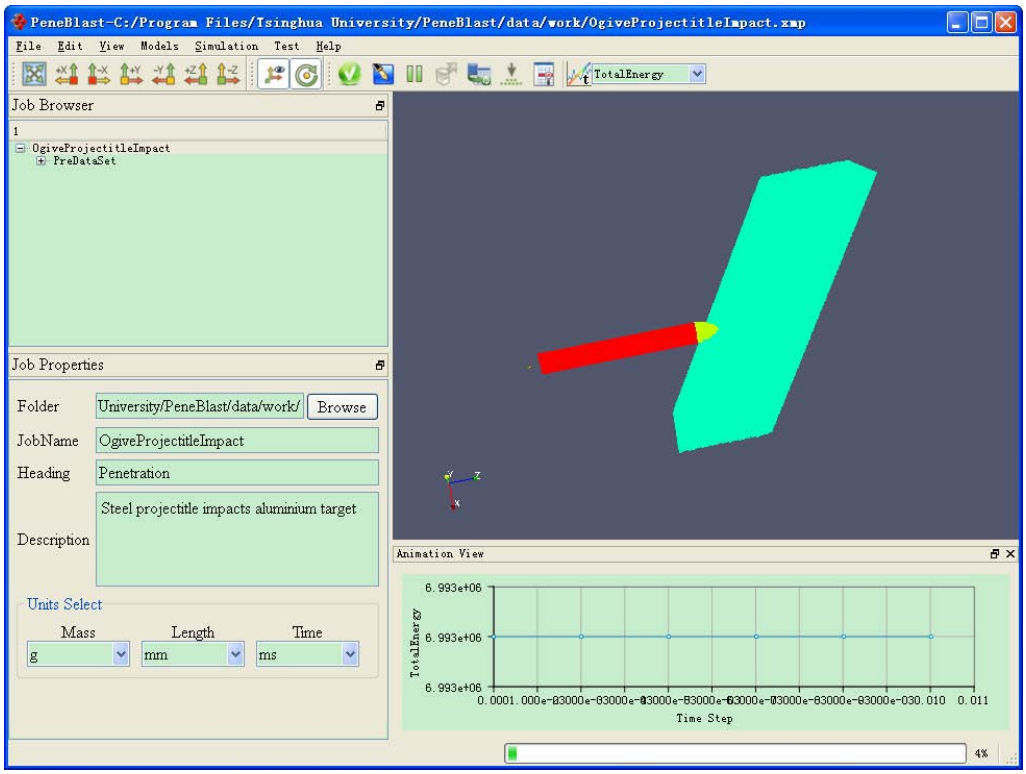


图 5.32: 计算监控

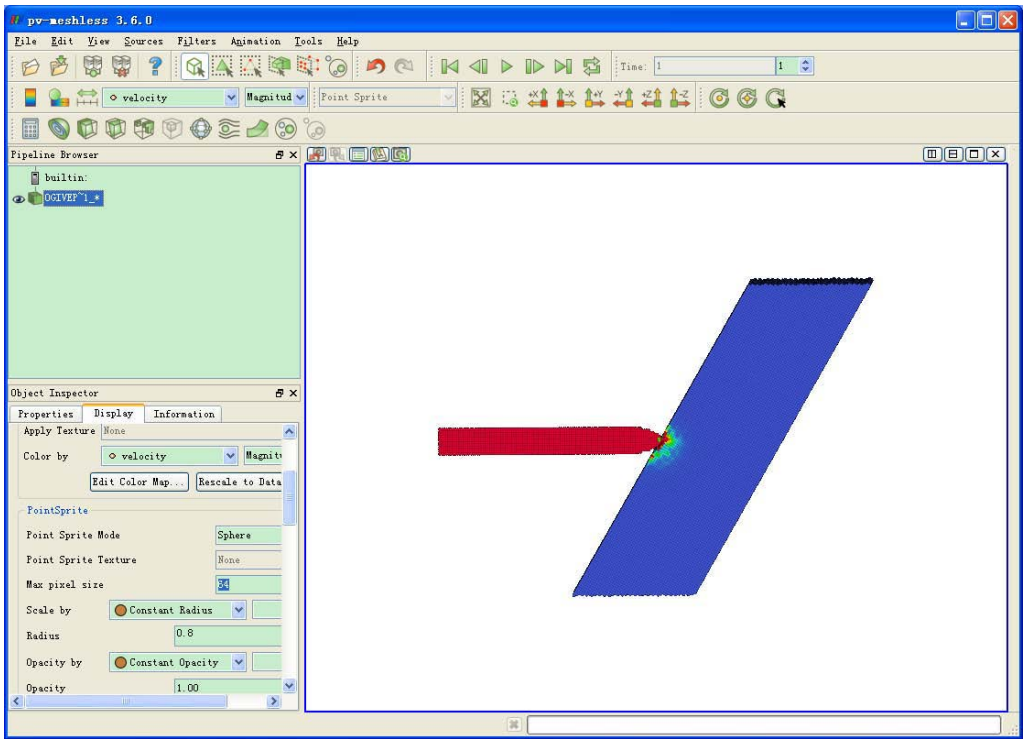
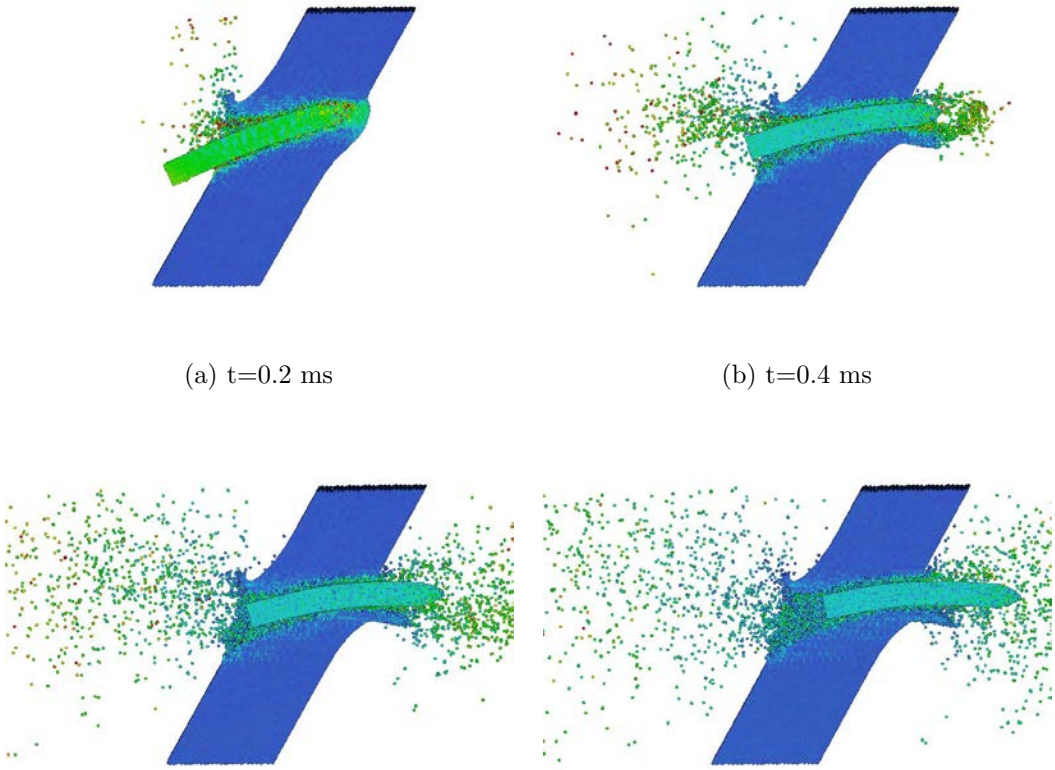


图 5.33: 载入结果文件



(a) t=0.2 ms (b) t=0.4 ms

(c) t=0.6 ms (d) t=0.8 ms

图 5.34: 侵彻过程

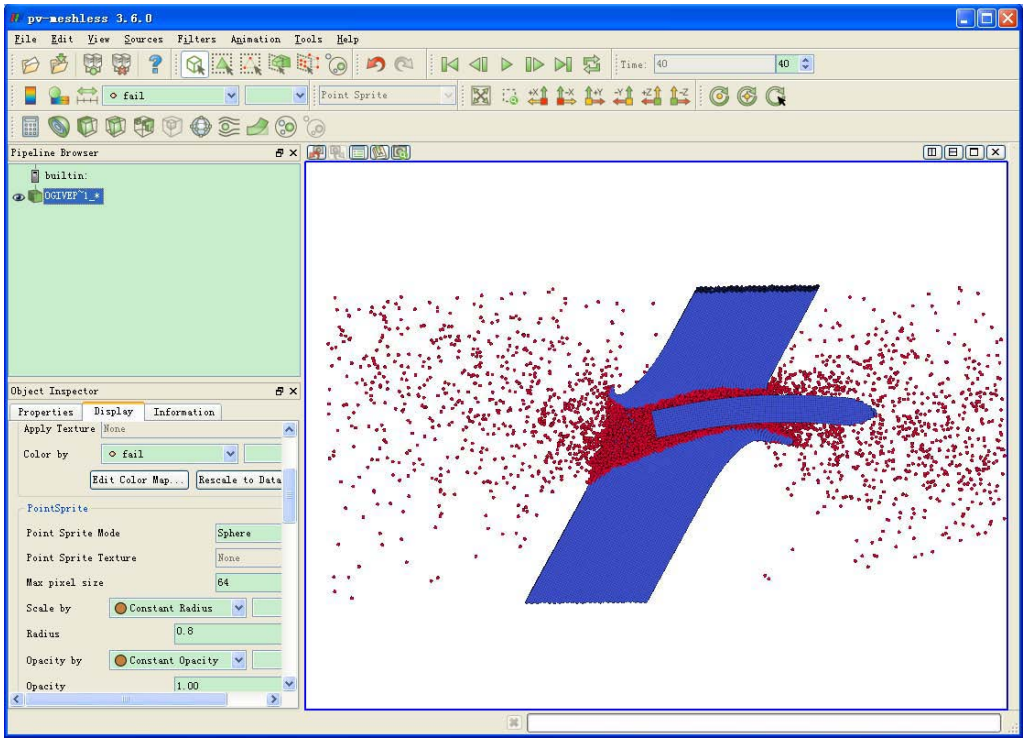


图 5.35: 失效粒子分布

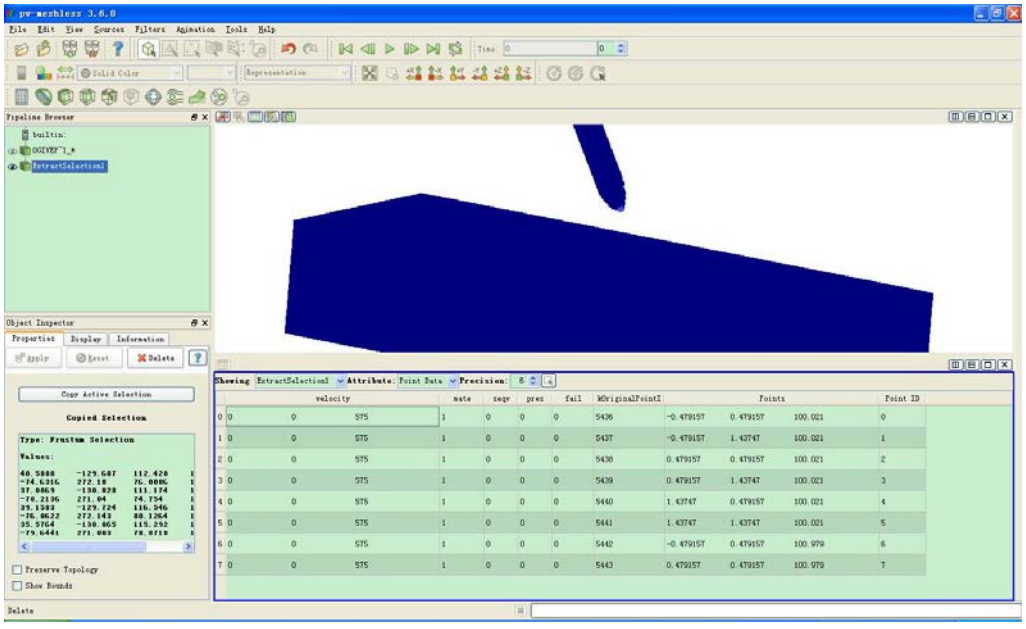


图 5.36: extract

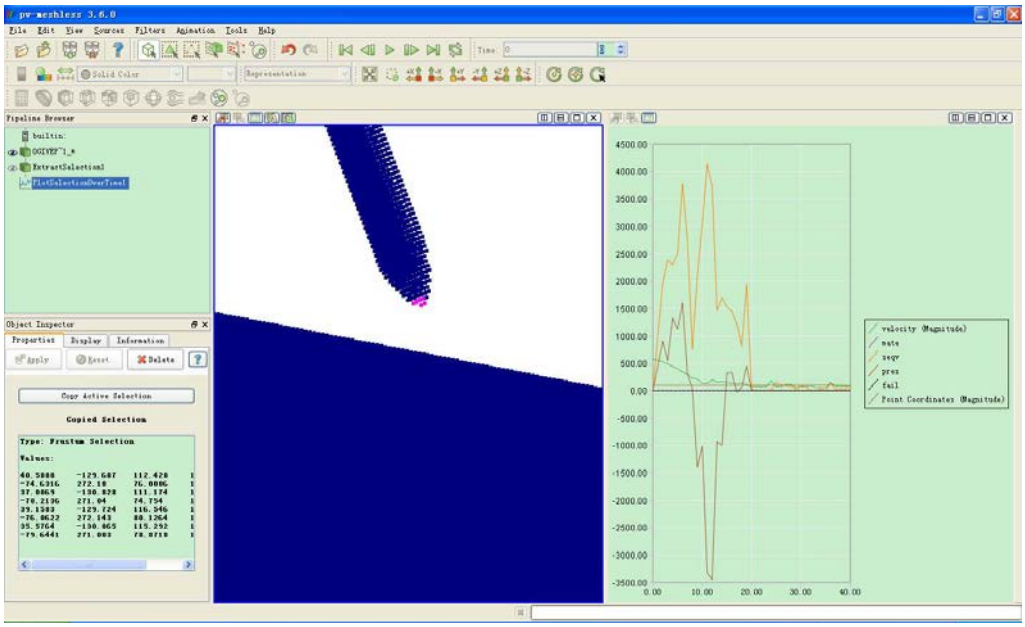


图 5.37: plot over time

Filters->Clip，选择切面法向为“Y Normal”，如图5.38所示。点击 Apply 加载文件，通过切片可查看物体内部质点的物理量，这里查看靠近弹体的靶体等效应力的分布，如图5.39所示。

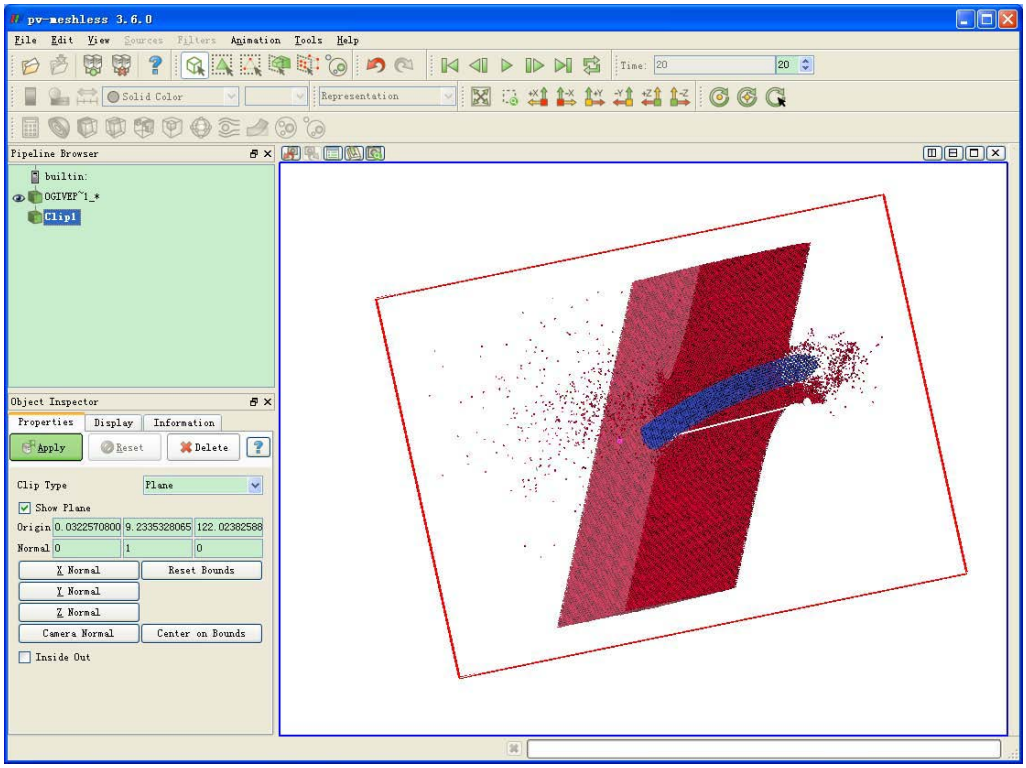


图 5.38: clip

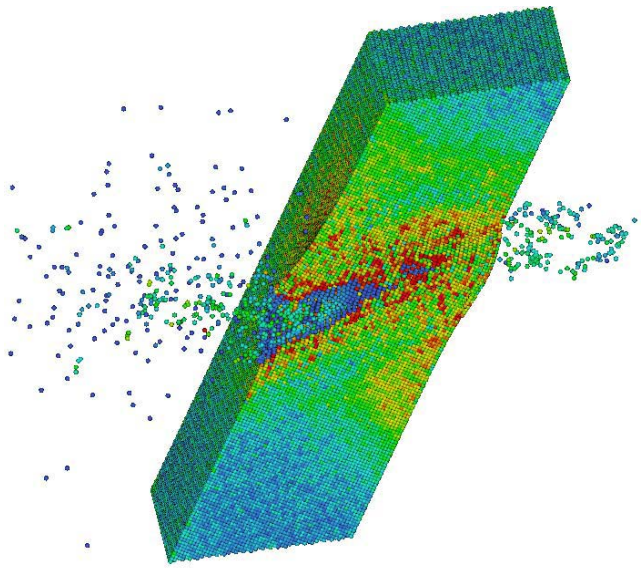


图 5.39: clip2

5.2 Taylorbar 算例指南

5.2.1 算例描述

本算例为泰勒杆撞击刚性墙。圆柱体采用 1/4 对称模型，以 190m/s 的速度撞击刚性墙，材料模型采用简化的 JohnsonCook 强度模型和 Gruneisen 状态方程。

5.2.2 任务定义

设置 JobName: Taylorbar；Heading: taylor bar impact, Johnson 1988；Description: Taylor；选择单位制 g-mm-ms。任务定义见图5.40。

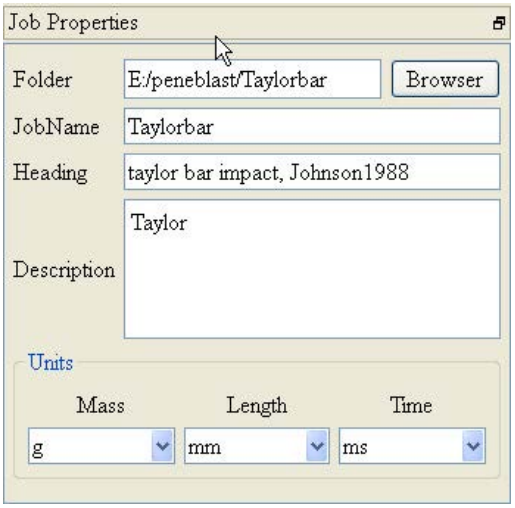


图 5.40: 任务定义

5.2.3 材料定义

点击菜单栏 Models->Material，点击 New，材料名称为 cu，材料密度为 8.93。设置材料的强度模型为 SimJohnsonCook，状态方程为 Gruneisen，失效模式为 None，参数如表5.3和表5.4，界面设置见图5.41。

表 5.3: 强度模型材料参数

Young	Poisson	Yield0	B	n	C	epso	bq1	bq2
117000	0.35	250	0.0	1.0	0.0	1.0	1.5	0.06

表 5.4: 状态方程材料参数

C0	S1	gamma	E0	simplified
3.94	1.49	1.96	0	0

数据输入完成后，点击 Apply，然后点击 OK，完成材料定义。

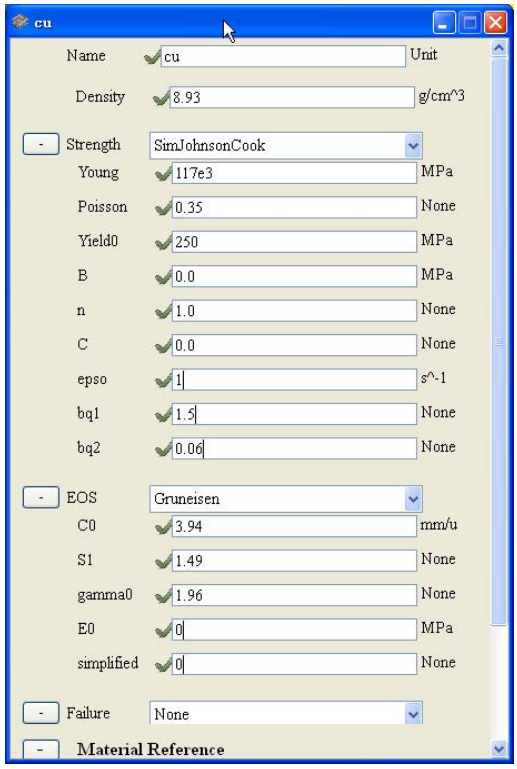


图 5.41: 材料参数

5.2.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 Taylorbar。选择 Taylorbar，点击菜单栏 Models->Create Cylinder，在 Taylorbar 组件下出现 Cylinder1，双击 Cylinder1 将其修改成 Cylinder。编辑 Cylinder 的 Body Properties，修改 R0=3.8，R1=3.8，L=26.22，angle=90。Material 选择 cu。勾选 Velocity，选择 Initial velocity，设置 V_x=0.0，V_y=0.0，V_z=-190.0。编辑 Cylinder 的 Body Discretization 进行离散设置，dp=0.38。组件设置结果见图5.42所示。

5.2.5 网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.5

表 5.5: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	0	Symmetric
x1(Right)	11.4	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	11.4	Free
z0(Back)	0	Symmetric
z1(Front)	26.6	Free

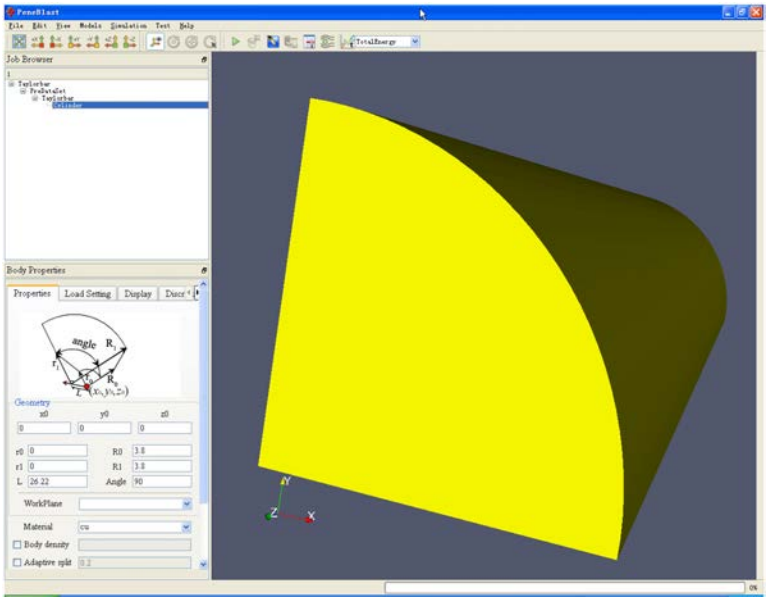


图 5.42: 组件示意图

设置 Cell size：dcx=0.76，dcy=0.76，dcz=0.76。网格设置见图5.43。

5.2.6 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡，设置 End time：0.08，Time step factor：0.6，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。求解设置见图5.44。

5.2.7 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 1.0e-3；勾选 Ouput variables：epef，tria，damg；Output time interval: 8.0e-3。Output format 选择 VTK_DATA。输出设置见图5.45。

5.2.8 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，并生成 Taylorbar.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data 检查输入文件，弹出对话框，如图5.46，表明 Taylorbar.xmp 通过格式检查。

5.2.9 计算监测

点击 Simulation->Real time monitor 打开实时监控，点击 start compute 按钮开始计算，计算过程截图如图5.47所示。

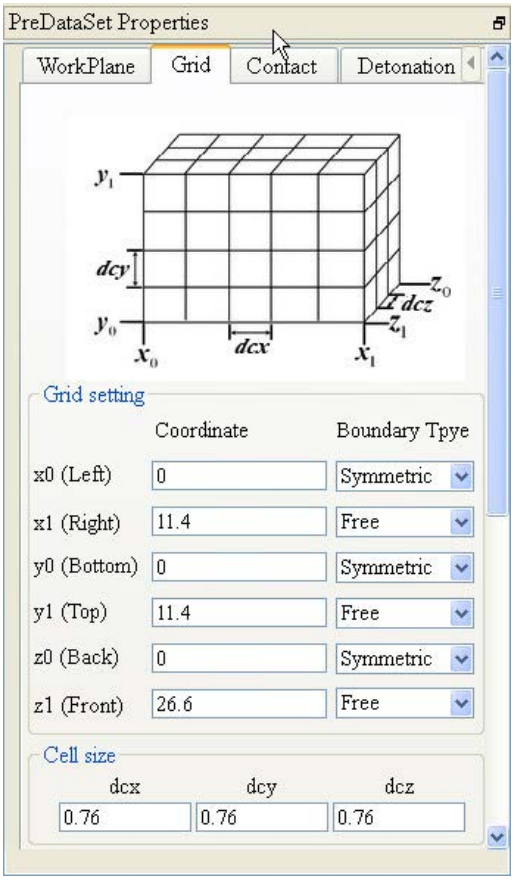


图 5.43: 网格参数设置

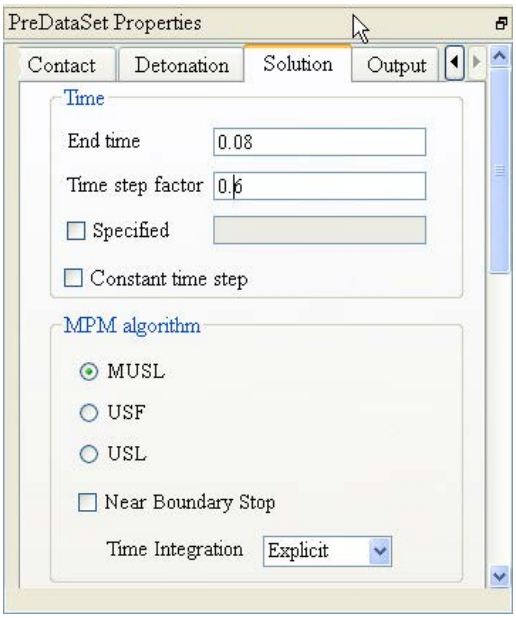


图 5.44: 求解参数设置

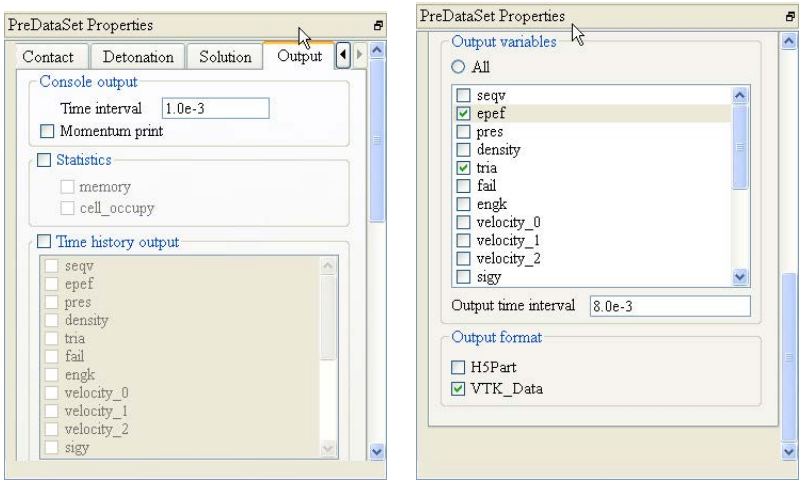


图 5.45: 输出参数设置



图 5.46: 检查输入文件

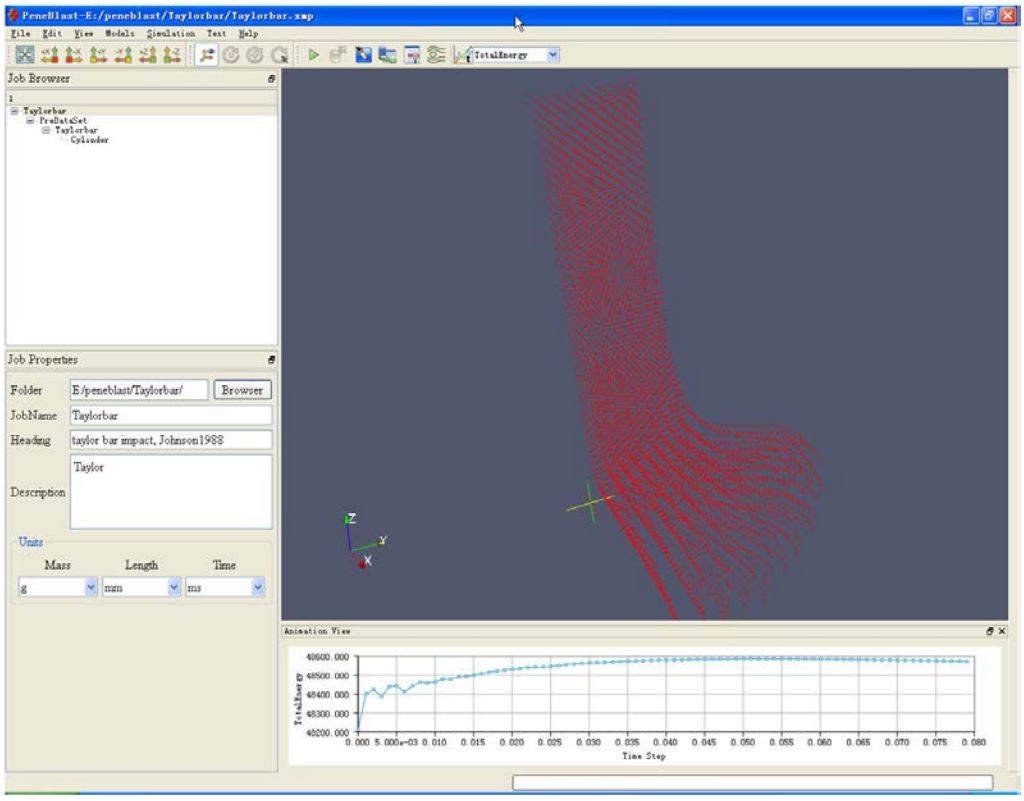

PeneBlast-E:/peneblast/Taylorbar/Taylorbar.xmp
File Edit View Models Simulation Test Help
TotalEnergy
Job Browser
Taylorbar
PreDataSet
Taylorbar
Cylinder
Job Properties
Folder
E/peneblast/Taylorbar/
Browser
JobName
Taylorbar
Heading
taylor bar impact, Johnson1988
Description
Taylor
Units
Mass
Length
Time
g
mm
ms
Animation View
TotalEnergy
Time Step

图 5.47: 计算过程监控

5.3 二维气体爆轰算例指南

5.3.1 算例描述

本算例为圆形炸药在中心点起爆后的反应过程。炸药 TNT 选用高能炸药材料模型和 JWL 状态方程。

5.3.2 任务定义

设置 JobName: 2DTNTgas；Heading: 2DTNT gas explosion；Description: 2d tnt gas explosion；单位制：g-mm-ms。任务定义见图5.48。

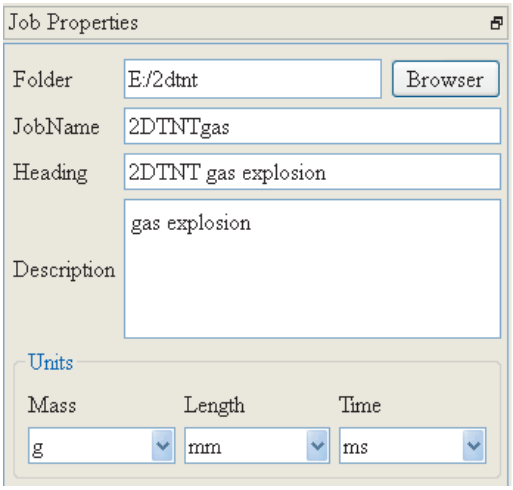


图 5.48: 任务定义

5.3.3 材料定义

点击菜单栏 Models->Material，点击 Load，选择 TNT，如图5.49所示，点击 load 确认。选择 TNT 材料，点击 Modify 对高能炸药材料模型和 JWL 状态方程参数进行修改，参数如表5.6和表5.7所示。界面设置见图5.50。

表 5.6: 高能炸药材料参数

D	PCJ	mu	bq1	bq2
0.693	0.21	1	1.5	0.5

表 5.7: JWL 状态方程材料参数

A	B	R1	R2	w	E0
3.712	0.0323	4.15	0.95	0.3	0.07

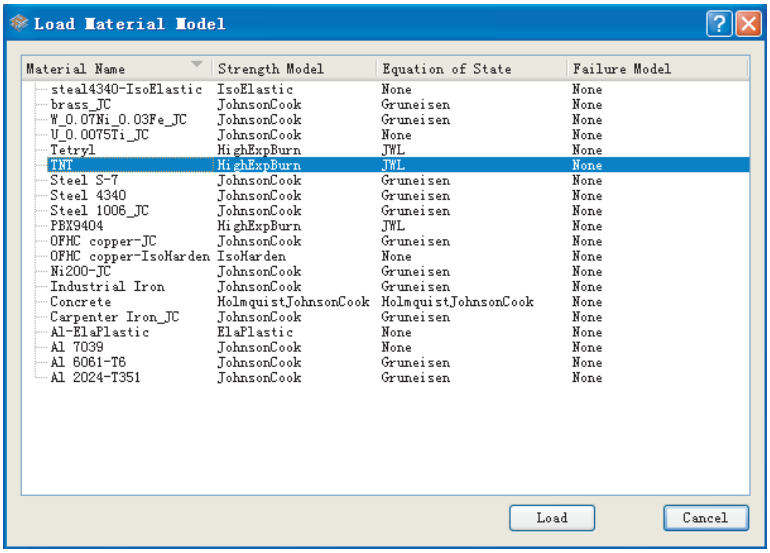


图 5.49: 加载材料示意

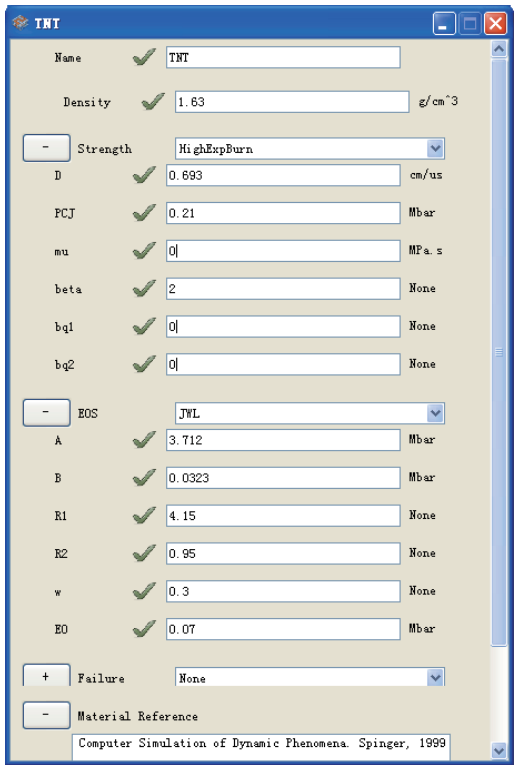


图 5.50: 修改材料参数

5.3.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，选择 component1，点击菜单栏 Models->Create Cylinder，在 component1 组件下出现 Cylinder1。编辑 Cylinder1 的 Body Properties，修改 R0=100，R1=100，L=1，angle=90。Material 选择 TNT。编辑 Cylinder 的 Body Discretization 进行离散设置，dp bottom=1，dp top=1。组件设置结果见图5.51。

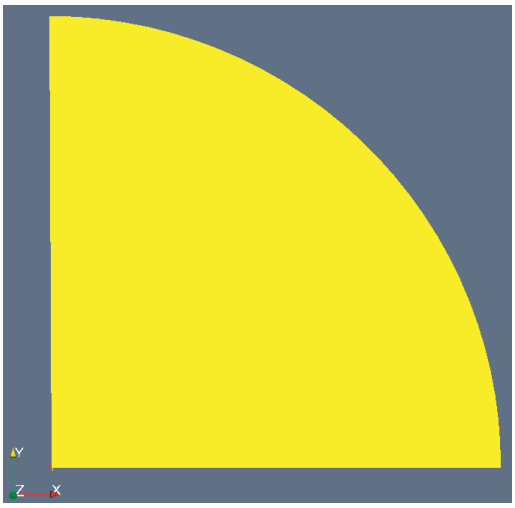


图 5.51: 组件设置结果示意图

5.3.5 网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.8

表 5.8: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	0	Symmetric
x1(Right)	600	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	600	Free
z0(Back)	-5	Symmetric
z1(Front)	5	Symmetric

设置 Cell size：dcx=10，dcy=10，dcz=10。网格设置见图5.52。

5.3.6 起爆设置

选择 PreDataSet Properties 的 Detonation 选项卡，点击 New，设置 Type 为“plane”；Detonation Time：0.0。点击“+”号，展开设置“Detonation plane”——设置 Direction：Z，

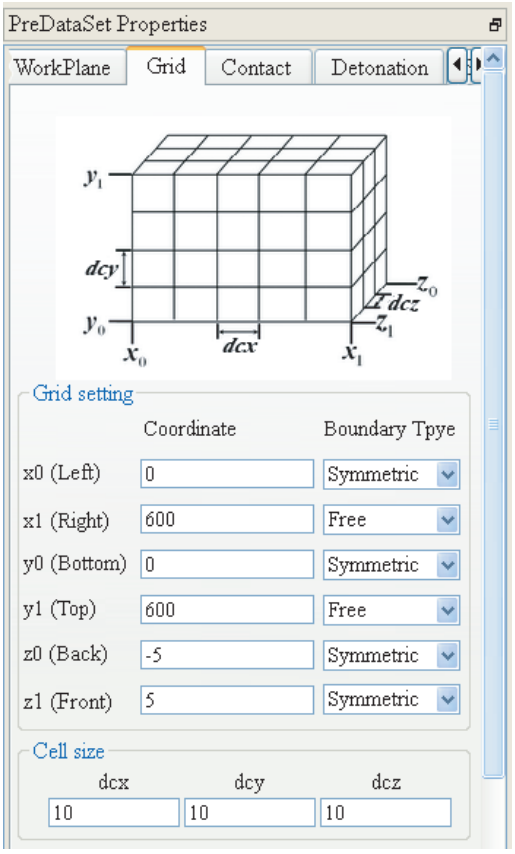


图 5.52: 网格参数设置

location：0.0；left：0.0，right：110；bottom: 0.0，top: 110.0。最后点击 Apply。起爆设置见图5.53。

5.3.7 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡，设置 End time：0.11，Time step factor：0.5，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。求解设置见图5.54。

5.3.8 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 1.0e-3；勾选 Ouput variables：pres, exx, eyy；Output time interval: 5.0e-3；Output format: VTK_DATA。输出设置见图5.55。

5.3.9 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，并生成 2DTNTgas.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data 检查输入文件。

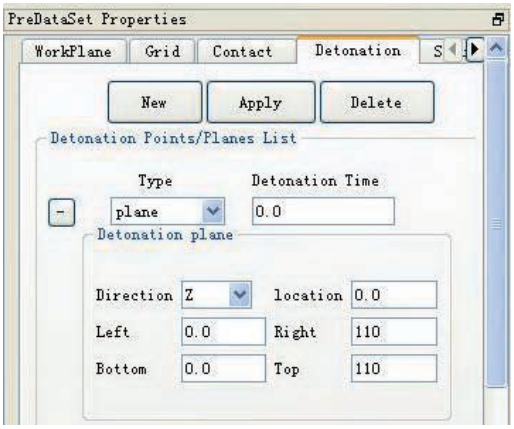


图 5.53: 起爆参数设置

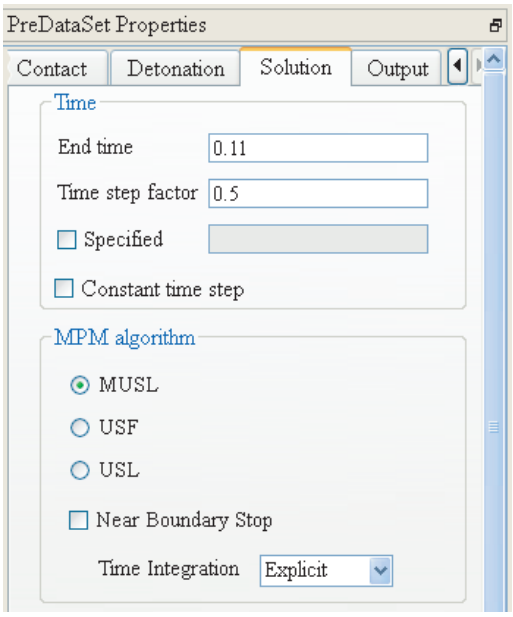


图 5.54: 求解参数设置

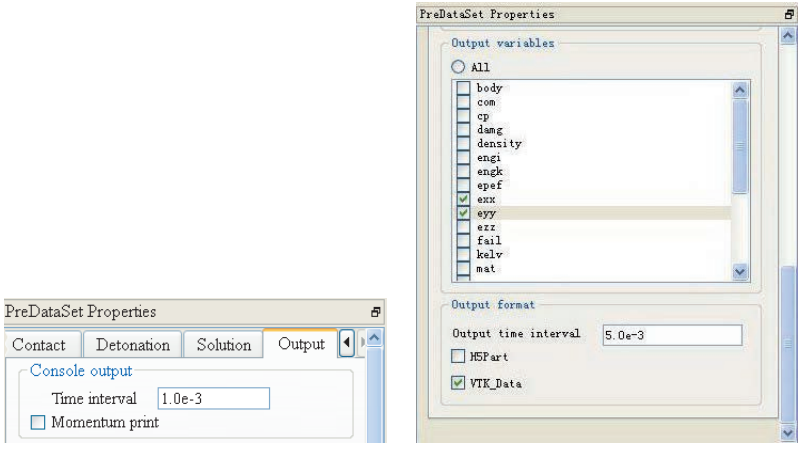


图 5.55: 输出参数设置

5.3.10 运行与后处理

使用命令行运行程序，将修改过的 xmp 文件作为输入文件。

/your path to mpm3dpp/mpm3dpp 2DTNTgas.xmp

5.4 破碎算例指南

5.4.1 算例描述

本算例模拟自然战斗部在爆炸荷载作用下破碎的过程。自然战斗部为柱壳，采用 1/4 对称模型并简化为平面应变问题模拟。炸药为 TNT，自然战斗部为 4340 钢，采用随机失效方案。

5.4.2 任务定义

设置 JobName: fragment；Heading: fragmentation phenomena；Description: metal fragmentation driven by detonation. 选择单位制 g-mm-ms。任务定义见图5.56。

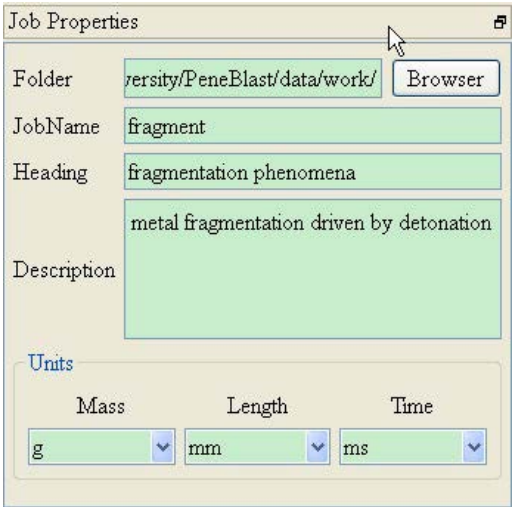


图 5.56: 任务定义

5.4.3 材料定义

点击菜单栏 Models->Material 点击 Load，选择 TNT，Steel4340，点击 Load 确认。Steel4340 选用了 JohnsonCook 强度模型、Grüneisen 状态方程和最大等效塑性应变失效模型。选择 Steel 4340 材料，点击 Modify 进行材料参数编辑。设置 epso=1，bq1=1.5，bq2=0.06。选择 Failure，增加失效模型 PlaStrain，epmax=0.4，点击 apply 确定。详细参数设置见表5.9。

TNT 选用高能炸药材料和 JWL 状态方程，详细参数见表5.10。

5.4.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 explosive 选择 explosive，点击菜单栏 Models->Create Cylinder，在 explosive 组件下出现 Cylinder1。编辑 Cylinder1 的 Body Properties。修改 R0=60，R1=60，

表 5.9: Steel 材料参数

Density	Young	Poisson	Yield0	B	n	C	m	roomt
7.83	210000	0.3	792	510	0.26	0.014	1.03	293
melt	SpecHeat	epso	bq1	bq2	D1	D2	D3	D4
1793	477	0.001	1.5	0.06	0.05	3.44	-2.12	0.002
D5	c0	S1	gamma0	E0	simplified	epmax		
0.61	3.57	1.92	1.8	0	0	0.4		

表 5.10: TNT 材料参数

Density	D	PCJ	mu	beta	bq1	bq2
1.63	0.693	0.21	0	2	1.5	0.06
A	B	R1	R2	w	E0	
3.712	0.0323	4.15	0.95	0.3	0.07	

L=0.5，Angle=90。Material 选择 TNT。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp bottom=0.5，dp top=0.5，点击工具栏 set view direction to -z。

选择 PreDataSet，点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component2，双击 component2 将其修改成 steel shell。选择 steel shell，点击菜单栏 Models->Create Cylinder，在 steel shell 组件下出现 Cylinder2。编辑 Cylinder1 的 Body Properties。修改 r0=60，R0=65，r1=60，R1=65，L=0.5，Angle=90。Material 选择 Steel4340。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp bottom=0.5，dp top=0.5，

选择 PreDataSet，点击工具栏 set view direction to -z。组件设置结果见图5.57。

5.4.5 网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.11

表 5.11: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	0	Symmetric
x1(Right)	200	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	200	Free
z0(Back)	0	Symmetric
z1(Front)	1	Symmetric

设置 Cell size：dcx=1，dcy=1，dcz=1。网格设置见图5.58。

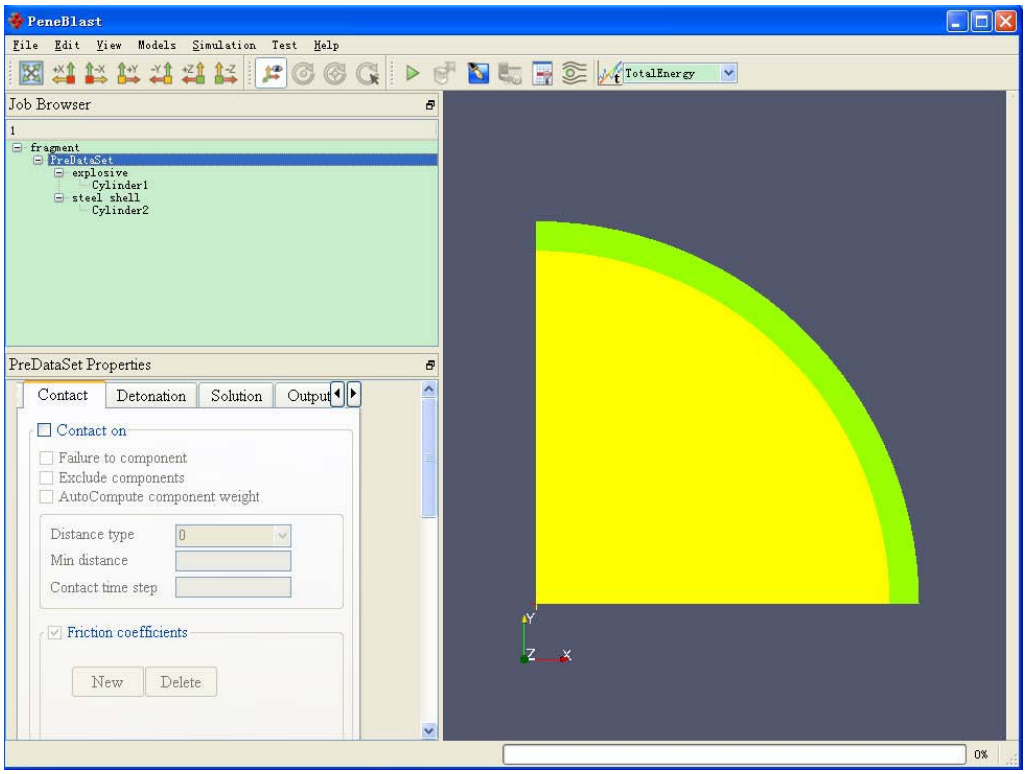


图 5.57: 组件设置示意图

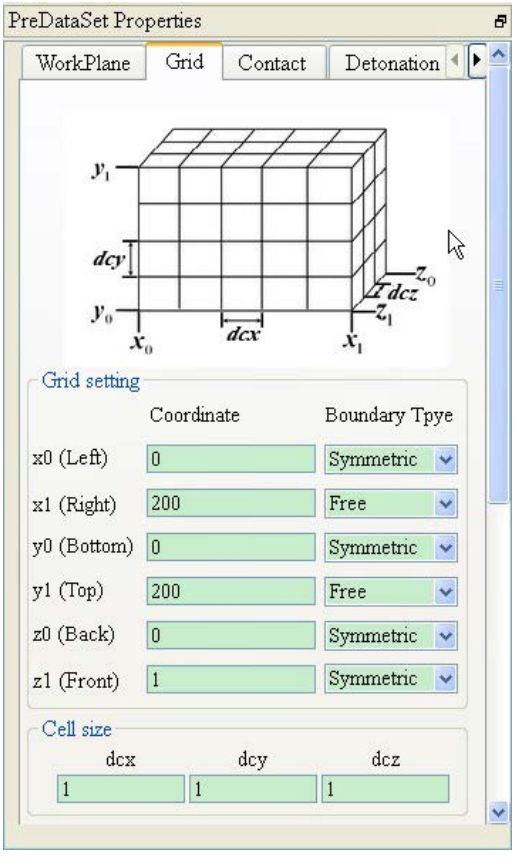


图 5.58: 网格参数设置

5.4.6 接触设置

选择 PreDataSet Properties 中 Contact 选项卡，勾选 Contact on，Failure to component，取消 Friction coefficients 设置。接触设置见图5.59。

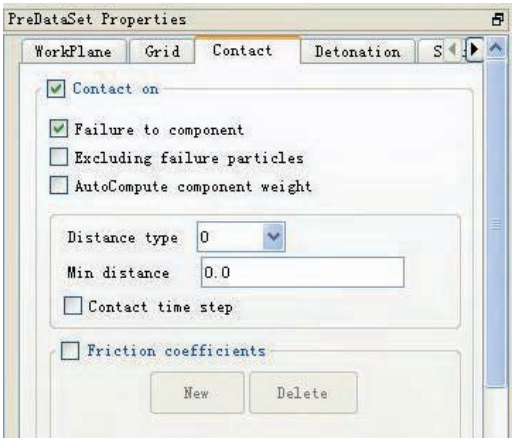


图 5.59: 接触参数设置

5.4.7 起爆设置

选择 PreDataSet Properties 的 Detonation 选项卡，点击“New”，设置 Type 为“plane”；Detonation Time：0.0。点击“+”号，展开设置“Detonation plane”——设置 Direction：Z，location：0.0；left：0.0，right：60.0；bottom: 0.0，top: 60.0。最后点击 Apply。起爆设置见图5.60。

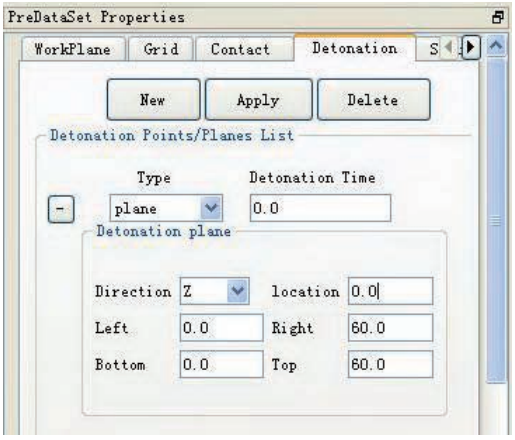


图 5.60: 起爆参数设置

5.4.8 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡，设置 End time：0.6，Time step factor：0.5，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。求解设置见图5.61。

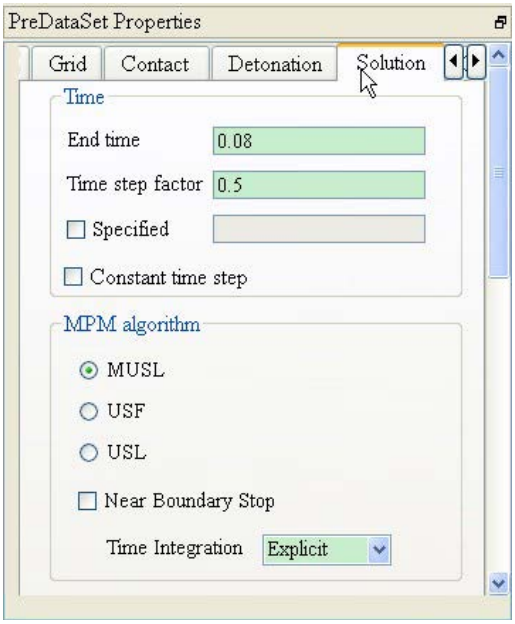


图 5.61: 求解参数设置

5.4.9 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 1e-3；勾选 Ouput variables：epef，pres，fail；Output time interval: 4e-3。Output format 选择 VTK_DATA。输出设置见图5.62。

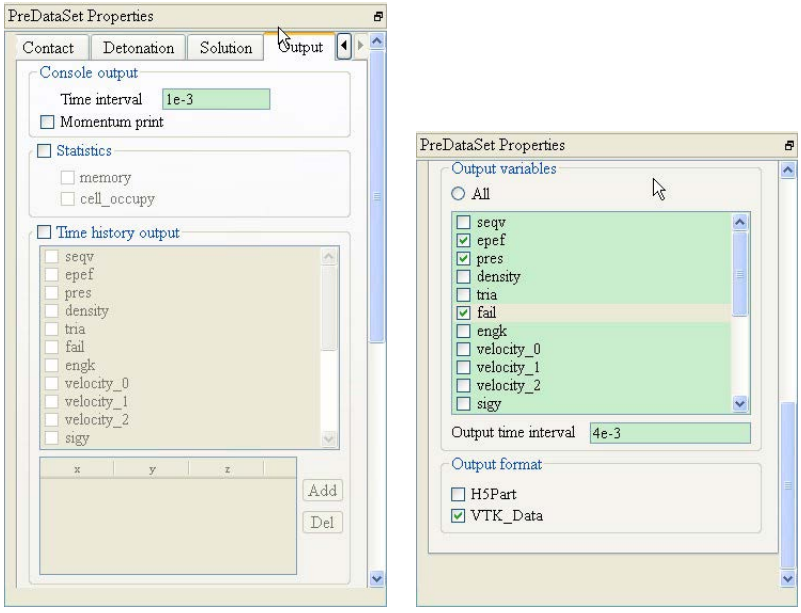


图 5.62: 输出参数设置

5.4.10 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，并生成 fragment.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data 检查输入文件，弹出对话框，如图5.63，表明 fragment.xmp 通过格式检查。点击 Simulation->Edit Input Data 调用 QxmlEdit 软件进行输入文件格式修改。选择“Steel 4330”材料，点击“Add Child”，在新增的 Element 中设置 Tag：RandomFailure，并在 Attributes 中增加 enable=1，FailDistribution=2。对 Steel 4330 材料启用 weibull 随机失效方案，用于模拟破碎的随机性，如图5.64。点击 OK 返回，并保存输入文件。

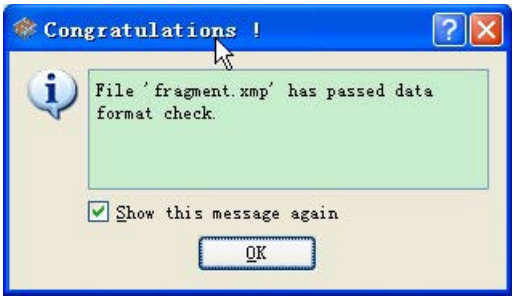


图 5.63: 检查输入文件

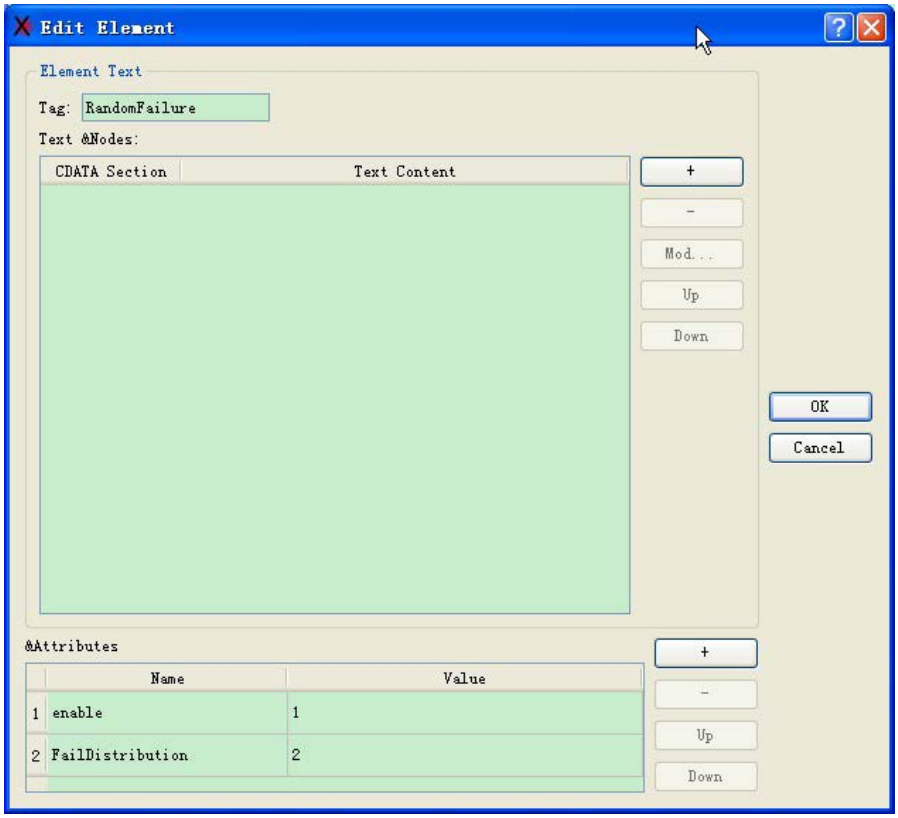


图 5.64: 检查输入文件

5.4.11 计算监测

点击 Simulation->Real time monitor 打开实时监控，点击工具栏 Start Compute 按钮开始计算，计算过程截图如图5.65所示。

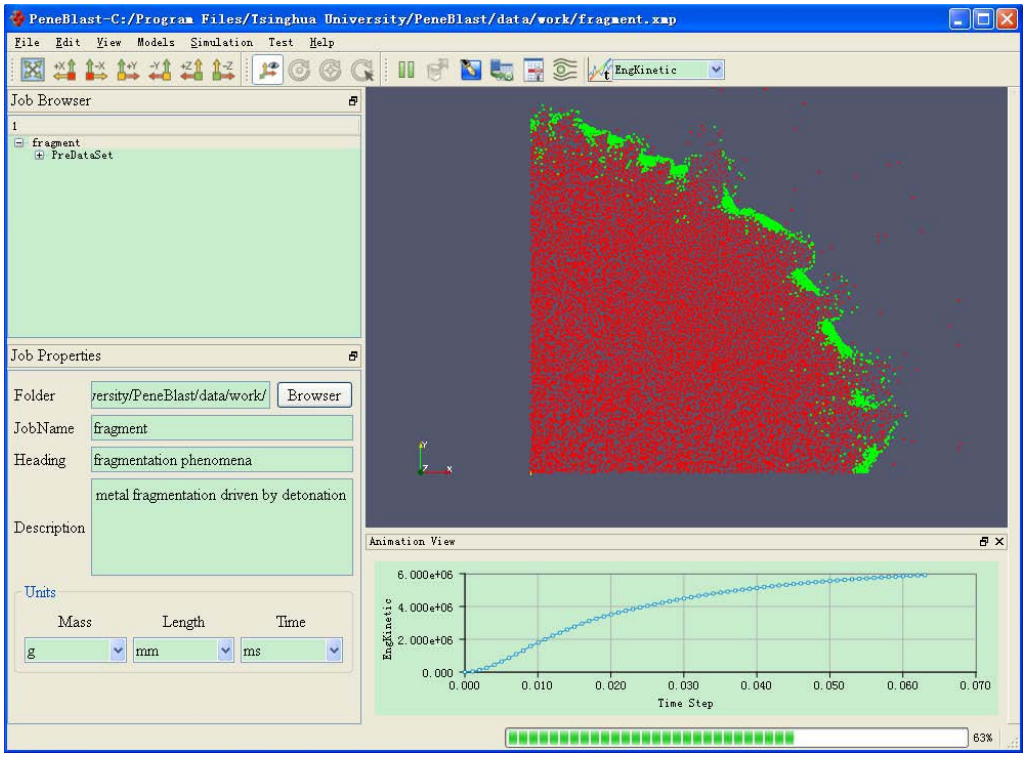


图 5.65: 计算过程监控

5.5 钢弹侵彻混凝土算例指南

5.5.1 算例描述

本算例模拟某型号导弹侵彻混凝土的过程，考察导弹对钢筋混凝土的侵彻效果，及剩余弹速。

5.5.2 任务定义

设置 JobName: ImpactConcrete；Heading: Impact concrete；Description: Simulation of steel impacting concrete；选择单位制 g-mm-ms。任务定义见图5.66。

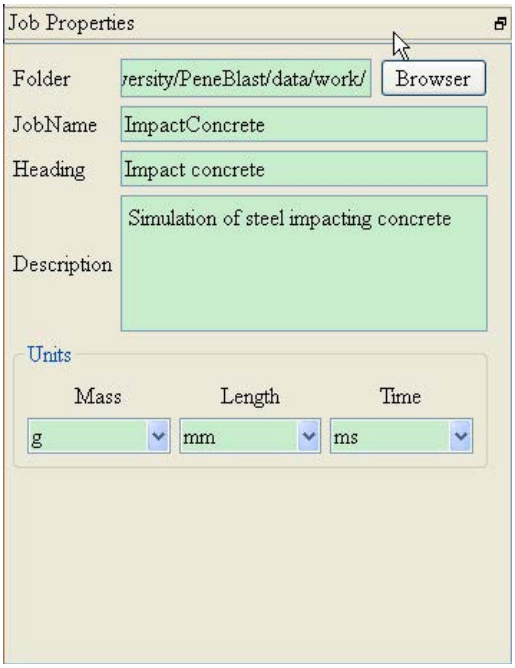


图 5.66: 任务定义

5.5.3 材料定义

点击菜单栏 Models->Material，点击 New，新建材料 steal4340-IsoElastic，steal4340-IsoElastic 选用 IsoElastic 强度模型。如图5.67所示，填写完毕，点击 Apply。同时需在 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡中设置最大体积限制系数 MaxVolFactor=1.05，最小体积限制系数 MinVolFactor=0.95，如图5.68所示。

点击 New，新建材料 Concrete，Concrete 选用 HolmquistJohnsonCook 强度模型和 HolmquistJohnsonCook 状态方程，详细参数设置如表5.12所示。

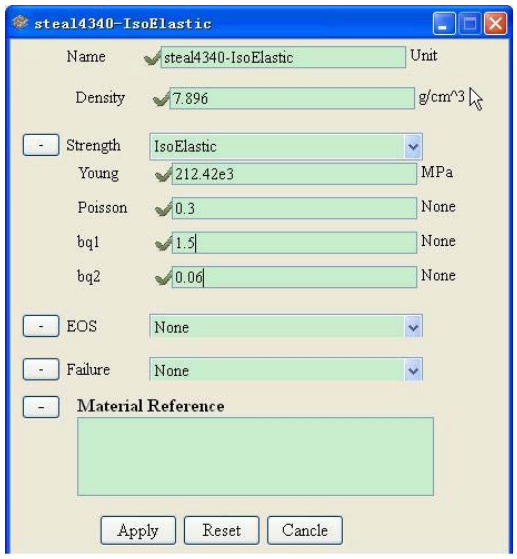


图 5.67: steal4340 材料定义

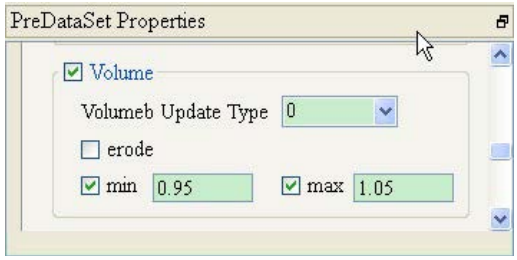


图 5.68: 体积限制系数设置

表 5.12: Concrete 材料参数

Density	Young	Poisson	A	B	C
2.44	35664	0.2	0.79	1.6	0.007
N	SMax	fc	D1	D2	EFMin
0.61	7	48	0.04	1	0.01
T	epso	TensileFailure	Threshold	ErosionByDamage	ErosionByPressure
4	1.0e-3	1	0	0	0
TensileDamage	SpecHeat	bq1	bq2	DamageToFail	FailedType
0	654	1.5	0.06	0	1
PLock	K1	K2	K3	PCrush	MuCrush
800	85.0e3	-171.0e3	208.0e3	16	0.001
MuLock					
0.1					

5.5.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 missile。选择 missile，点击菜单栏 Models->Create Ogive，在 missile 组件下出现 Ogive1。编辑 Ogive1 的 Body Properties。在 Geometry 中修改 x0=0.0，y0=0.0，z0=-42.4，R_end=12.7，R_og=76.2，Angle=90。Material 选择 steal4340-IsoElastic。勾选 Velocity，设置 Initial_velocity：V_x=0，V_y=0，V_z=1058。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp bottom=2.54，dp top=2.54。点击工具栏 set view direction to -z。

选择 missile，点击菜单栏 Models->Create Cylinder，在 missile 组件下出现 Cylinder1。编辑 Cylinder1 的 Body Properties。在 Geometry 中修改 x0=0.0，y0=0.0，z0=-144，r0=0，R0=12.7，r1=0，R1=12.7，L=101.6，Angle=90。Material 选择 steal4340-IsoElastic。勾选 Velocity，设置 Initial_velocity：V_x=0，V_y=0，V_z=1058。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp bottom=2.54，dp top=2.54，点击工具栏 set view direction to -z。

选择 PreDataSet，点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component2，双击 component2 将其修改成 target。选择 target，点击菜单栏 Models->Create Block，在 target 组件下出现 Block1。编辑 Block1 的 Body Properties。修改 x0=0.0，y0=0.0，z0=0，x_length=254，y_length=254，z_length=177.8。Material 选择 Concrete。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp=2.54。

选择 PreDataSet，点击工具栏 set view direction to -z。组件设置结果见图5.69。

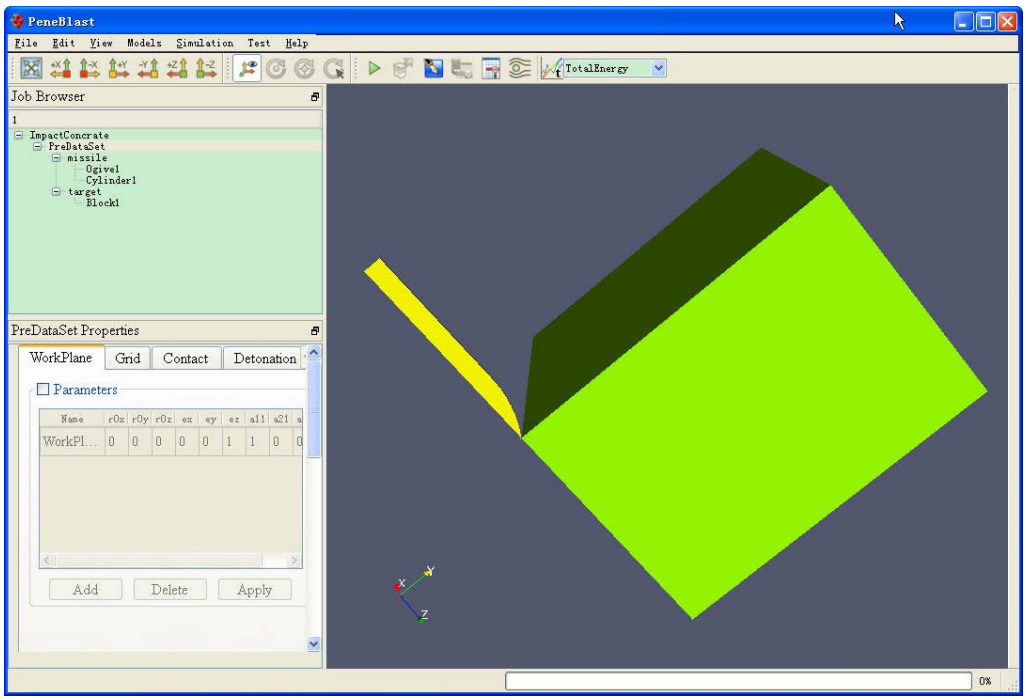


图 5.69: 组件设置示意图

5.5.5 网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.13

表 5.13: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	0	Symmetric
x1(Right)	270	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	270	Free
z0(Back)	-150	Free
z1(Front)	420	Free

设置 Cell size：dcx=5.08，dcy=5.08，dcz=5.08。网格设置见图5.70。

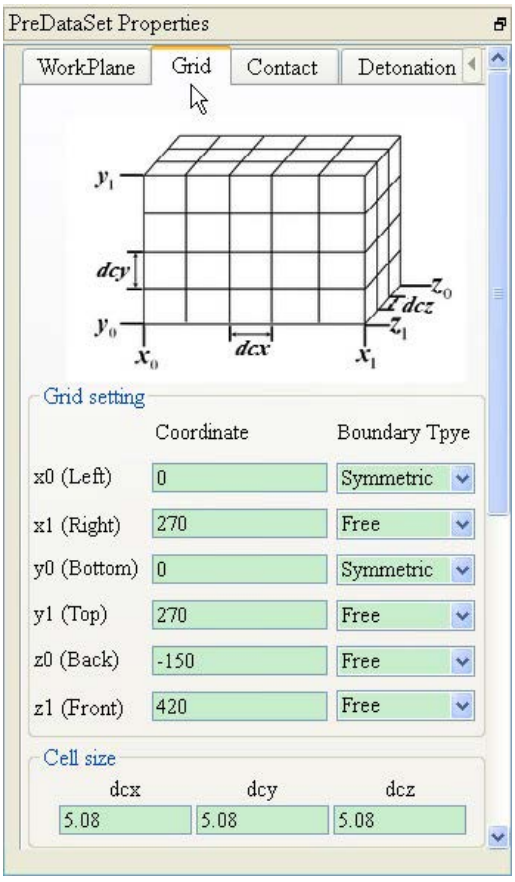


图 5.70: 网格参数设置

5.5.6 接触设置

选择 PreDataSet Properties 中 Contact 选项卡，勾选 Contact on。取消 Friction coefficients 设置。接触设置见图5.71。

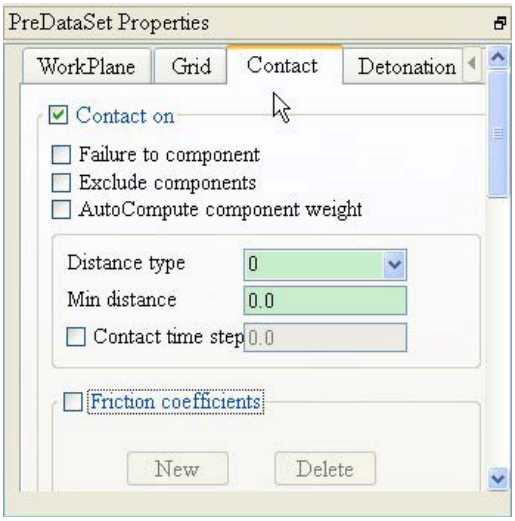


图 5.71: 接触参数设置

5.5.7 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡，设置 End time：0.5，Time step factor：0.3，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。设置速度限制 Limit Velocity=1000000。

5.5.8 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 2.0e-3；勾选 Ouput variables：pres，damg，engi，kelv；Output time interval: 0.05。Output format 选择 VTK_DATA。

5.5.9 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，并生成 ImpactConcrete.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data 检查输入文件，弹出对话框，如图5.72，表明 ImpactConcrete.xmp 通过格式检查。

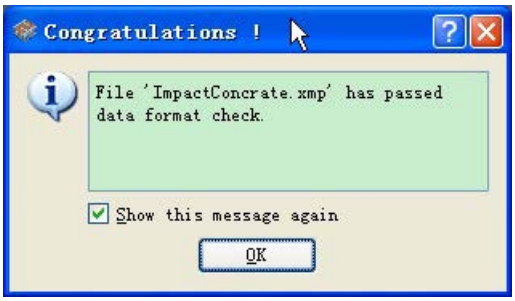


图 5.72: 检查输入文件

5.5.10 计算监测

点击 Simulation->Real time monitor 打开实时监控，点击 Start Compute 按钮开始计算，计算过程截图如图5.73所示。

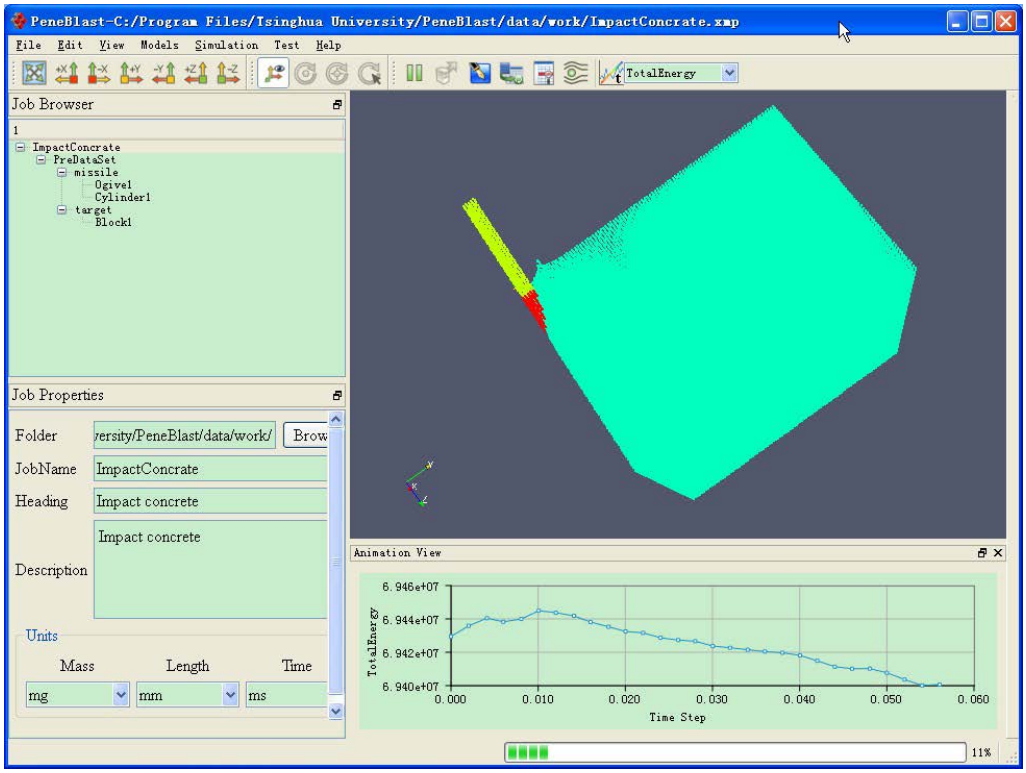


图 5.73: 计算过程监控

5.6 Gurney 飞片算例指南

5.6.1 算例描述

该算例主要通过对爆轰驱动飞片的模拟，与理论公式进行对比，从而验证程序在爆炸方面计算的精度，并且可延伸于工程实际问题。其中，炸药采用 TNT，金属为钢。

5.6.2 任务定义

设置 JobName: gurney；Heading: gurney；Description: simulation of explosively driven metal；选择单位制 g-mm-ms。任务定义见图5.74。

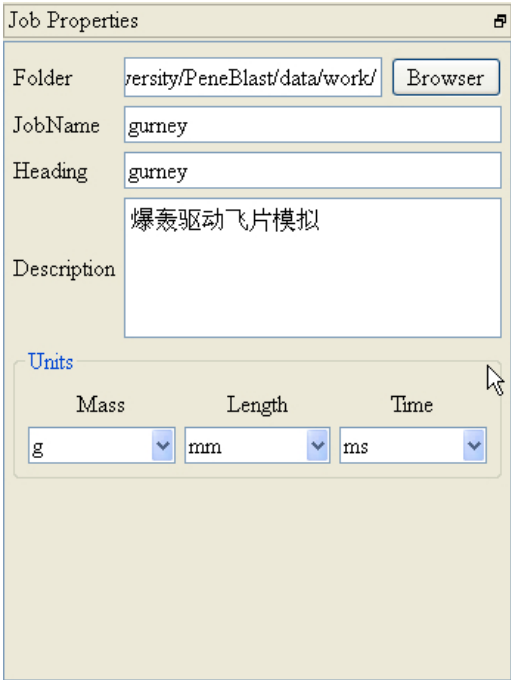


图 5.74: 任务定义

5.6.3 材料定义

Steel: 顺序点击菜单栏中的 Model->Material，弹出 Material Definition 对话框；点击 New, 弹出 Material Data Input 对话框, 强度模型为 SimJohnsonCook，状态方程和失效模式类型均为 none。材料参数设置如表5.14。

表 5.14: Steel 材料参数

Density	Young	Poisson	Yield0	B	n	C	epso	bq1	bq2
7.83	200000	0.3	300	200	0.5	0.014	1.0	1.5	0.06

TNT: 顺序点击菜单栏中的 Model->Material，弹出 Material Definition 对话框。点击 Load，弹出 Load Material Model 对话框。鼠标左键选择 TNT，点击 Load，在 Material Definition 对话框中点击 OK, 详细参数见表5.15。

表 5.15: Steel 材料参数

Density	D	PCJ	mu	beta	bq1	bq2
1.63	0.693	0.21	0	2	1.5	0.06
A	B	R1	R2	w	E0	
3.712	0.0323	4.15	0.95	0.3	0.07	

5.6.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 explosive。选择 explosive，点击工具栏 Models->Create Block，在 explosive 组件下出现 Block1。编辑 Block1 的 Body Properties。修改 x length=20，y length=3，z length=0.1。Material 选择 TNT。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp=0.1。点击工具栏 set view direction to -z。

选择 PreDataSet，点击工具栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component2，双击 component2 将其修改成 flyer。选择 flyer，点击工具栏 Models->Create Block，在 flyer 组件下出现 Block2。编辑 Block2 的 Body Properties。修改 x0=20，x length=0.8，y length=3，z length=0.1。Material 选择 Steel。选择 Body Properties->Discretization 进行离散设置，dp=0.1。选择 PreDataSet，点击工具栏 set view direction to -z。组件设置结果见图5.75。

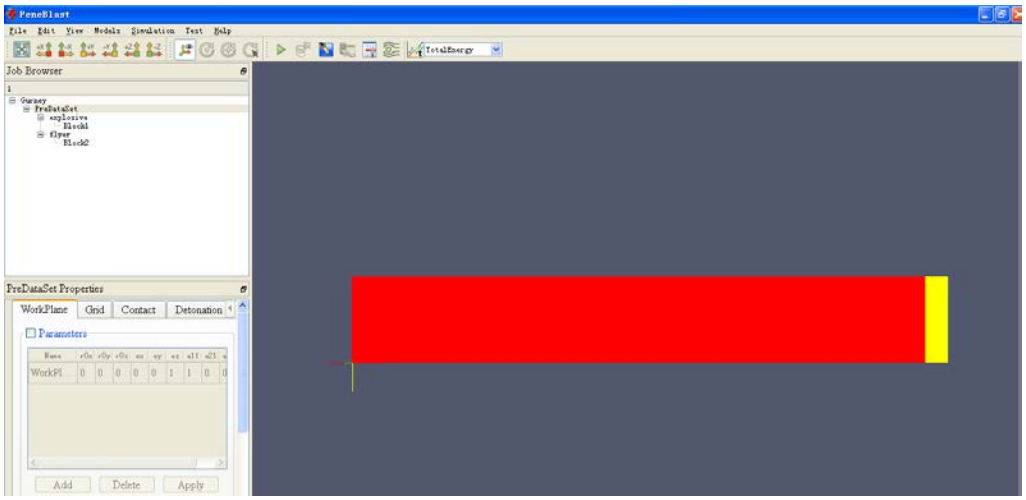


图 5.75: 组件设置示意图

5.6.5 网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.16。

表 5.16: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	-10	Free
x1(Right)	700	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	3	Symmetric
z0(Back)	-0.2	Symmetric
z1(Front)	0.3	Symmetric

勾选 Dynamic cell 选项，clear cell step=10。设置 Cell size：dcx=0.5，dcy=0.5，dcz=0.5。网格设置见图5.76。

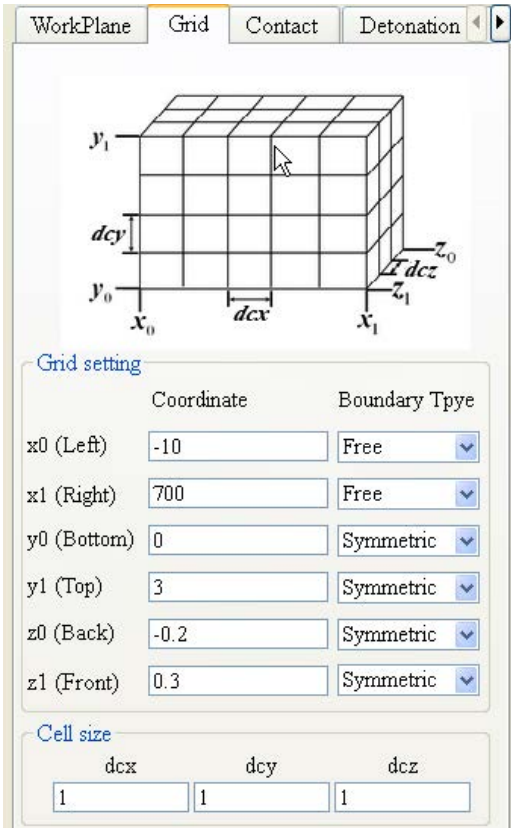


图 5.76: 网格参数设置

5.6.6 起爆设置

选择 PreDataSet Properties 中 Detonation 选项卡，点击 New，选择 Type：plane；Lighting Time：0.0。点击“+”号，选择 Direction：x, 0.0，left: 0.0，right: 3，bottom: 0.0，

top: 0.1。最后点击 Apply。起爆设置见图5.77。

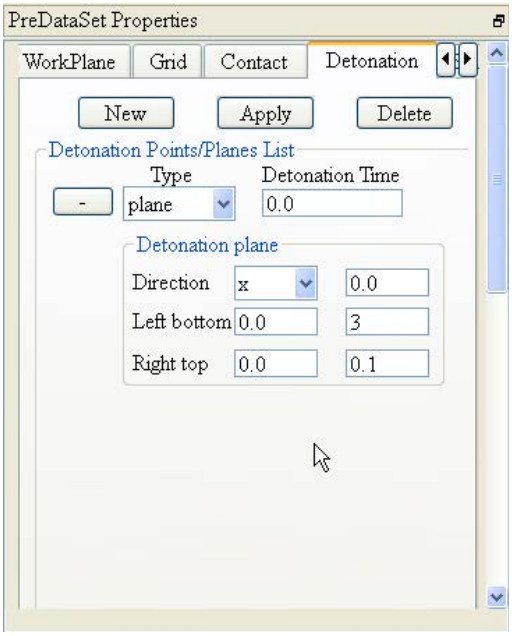


图 5.77: 起爆参数设置

5.6.7 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡，设置 End time：0.1，Time step factor：0.2，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。求解设置见图5.78。

5.6.8 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 1e-4；勾选 Time history output：velocity_0, 点击 add 添加以下跟踪点：

x=20.05 y=1.45 z=0.05；

x=20.35 y=1.45 z=0.05；

x=20.75 y=1.45 z=0.05；

x=20.35 y=0.05 z=0.05；

x=20.05 y=2.95 z=0.05；

勾选 Ouput variables：pres，velocity_0，density；Output time interval: 2e-3。Output format 选择 VTK_DATA。输出设置见图5.79。

5.6.9 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，并生成 gurney.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data 检查输入文件，弹出对话框，如图5.80，表明 gurney.xmp 通过格式检查。

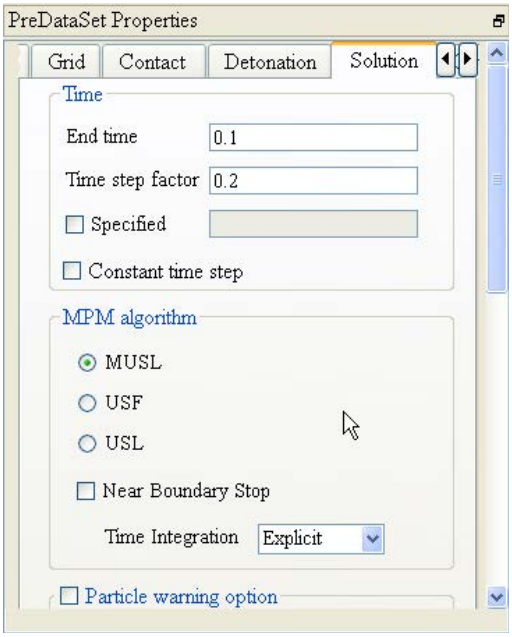


图 5.78: 求解参数设置

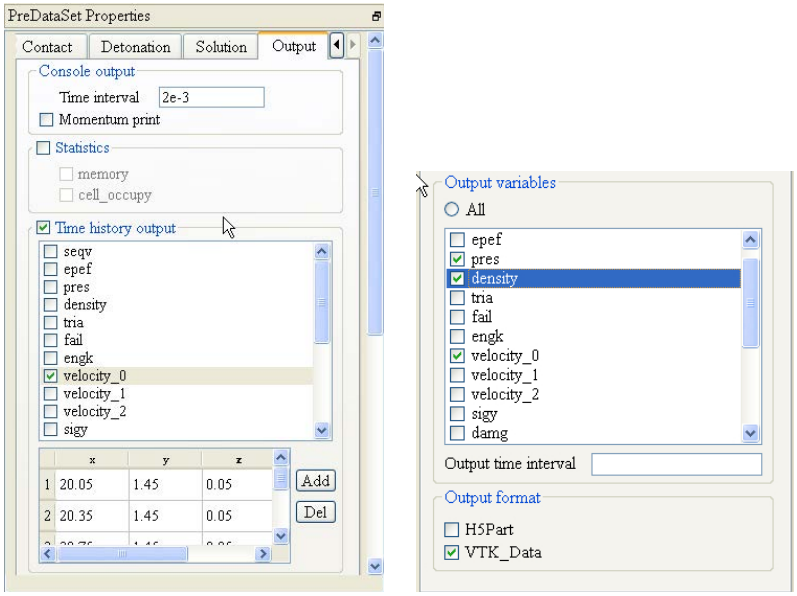


图 5.79: 输出参数设置



图 5.80: 检查输入文件

5.6.10 计算监测

点击 Simulation->Real time monitor 打开实时监控，点击 Start Compute 按钮开始计算，计算过程截图如图5.81所示。

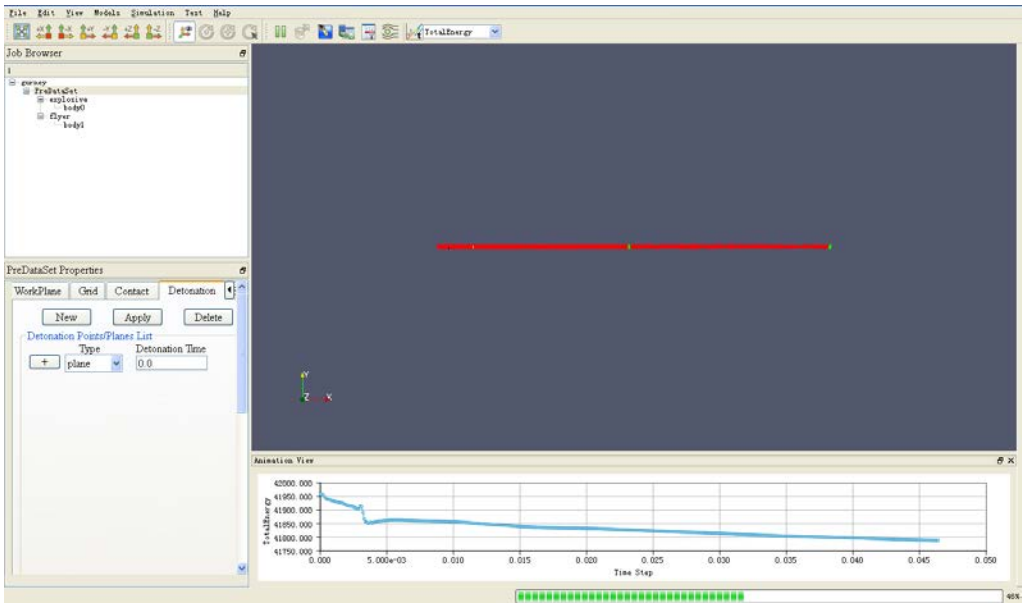


图 5.81: 计算过程监控

5.7 Jetting 算例指南

5.7.1 算例描述

本算例模拟聚能装药的爆炸、金属射流的形成及高速射流对靶体的侵彻。本计算模型采用二维平面应变进行简化计算。根据问题的对称性，可取一半进行计算模拟。聚能装药的外壳及药型罩材料为铜，模型采用简化的 JohnsonCook 强度模型和 Grüneisen 状态方程，炸药 TNT 选用高能炸药材料模型和 JWL 状态方程；目标靶体为 20mm 的钢板，材料模型亦采用简化的 JohnsonCook 强度模型和 Grüneisen 状态方程。

5.7.2 任务定义

- Folder

  选择新建任务的存储路径：E:/example/jet；

- JobName

  设置任务名称：Jetting；

- Heading:

  列出问题的分类等属性：2DShapedCharge；

- Description

  任务简短描述：High explosive detonation and extreme deformations of the shaped charge；

- Units

  选择单位制：g-mm-ms。

任务定义见图5.82。

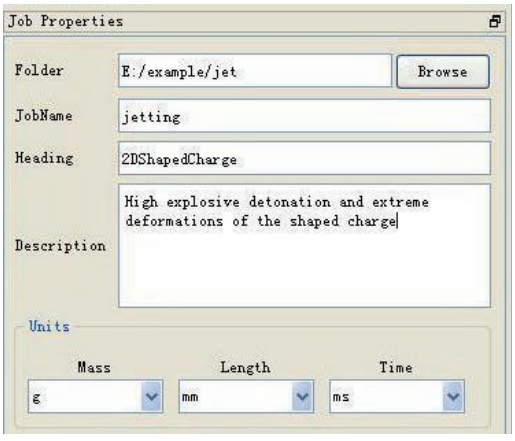


图 5.82: 任务定义

5.7.3 材料定义

点击菜单栏 Models->Material。点击 Load，选择 TNT、Steel S-7，点击 Load 确认。

- TNT

  TNT 选用高能炸药材料和 JWL 状态方程，详细参数见表5.17。

表 5.17: TNT 材料参数

Density	D	PCJ	mu	beta	bq1	bq2
1.63	0.693	0.21	0	2	1.5	0.06
A	B	R1	R2	w	E0	
3.712	0.0323	4.15	0.95	0.3	0.07	

- Steel S-7

  Steel S-7 选用了 JohnsonCook 强度模型和 Grüneisen 状态方程，详细参数设置见表5.18和5.19。

表 5.18: Steel S-7 强度模型材料参数

Young	Poisson	Yield0	B	n	C	m	roomt	melt
210000	0.3	1539	477	0.18	0.012	1.0	293	1763
SpecHeat	epso	bq1	bq2	D1	D2	D3	D4	D5
477	1	1.5	0.06	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 5.19: Steel S-7 状态方程材料参数

C0	S1	gamma	E0	simplified
4.569	1.49	1.8	0	0

外壳和药型罩材料为铜。点击菜单栏 Models->Material，点击 New，材料名称为 Cu，材料密度为 8.93。设置材料的强度模型为 JohnsonCook，状态方程为 Grüneisen，失效模式为 None。相关变量的数据输入完成后，点击 Apply，然后点击 OK，完成材料定义。

- Cu

  铜的材料参数如表5.20和表5.21，界面设置见图5.83。

5.7.4 组件设置

点击菜单栏 Models->Create Component，在 PreDataSet 下出现 component1，双击 component1 将其修改成 jet。选择组件 jet，点击菜单栏 Models->Create User-Defined，在 jet 组件下出现 User-Defined1，双击 User-Defined1 将其修改成 case。

表 5.20: Cu 强度模型材料参数

Young	Poisson	Yield0	B	n	C	m	roomt	melt
117000	0.35	90	292	0.31	0.025	1.09	293	1356
SpecHeat	epso	bq1	bq2	D1	D2	D3	D4	D5
383	1	1.5	0.05	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

表 5.21: Cu 状态方程材料参数

C0	S1	gamma	E0	simplified
3.94	1.49	1.96	0	0

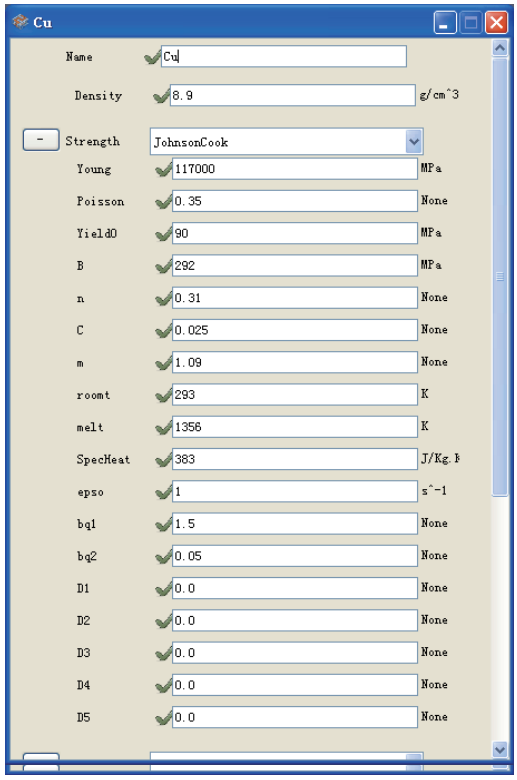


图 5.83: 材料参数

由于是用户自定义实体，因此需要用户通过第三方 CAE 软件将复杂几何体划分网格，再将网格信息转化成物质点信息。具体用法参见 Grid2Point 使用指南。PeneBlast 系统支持用户通过导入包含物质点信息的文本文件来新建复杂几何体。

编辑 case 的 Body Properties，点击“Browse”按钮，在弹出的对话框中通过指定写有 case 的所有物质点的文件路径来导入用户自定义实体 case，Material 选择 Cu。其他属性不启用，保持缺省状态即可。User-Defined 的 Body Properties 设置结果见图5.84所示。

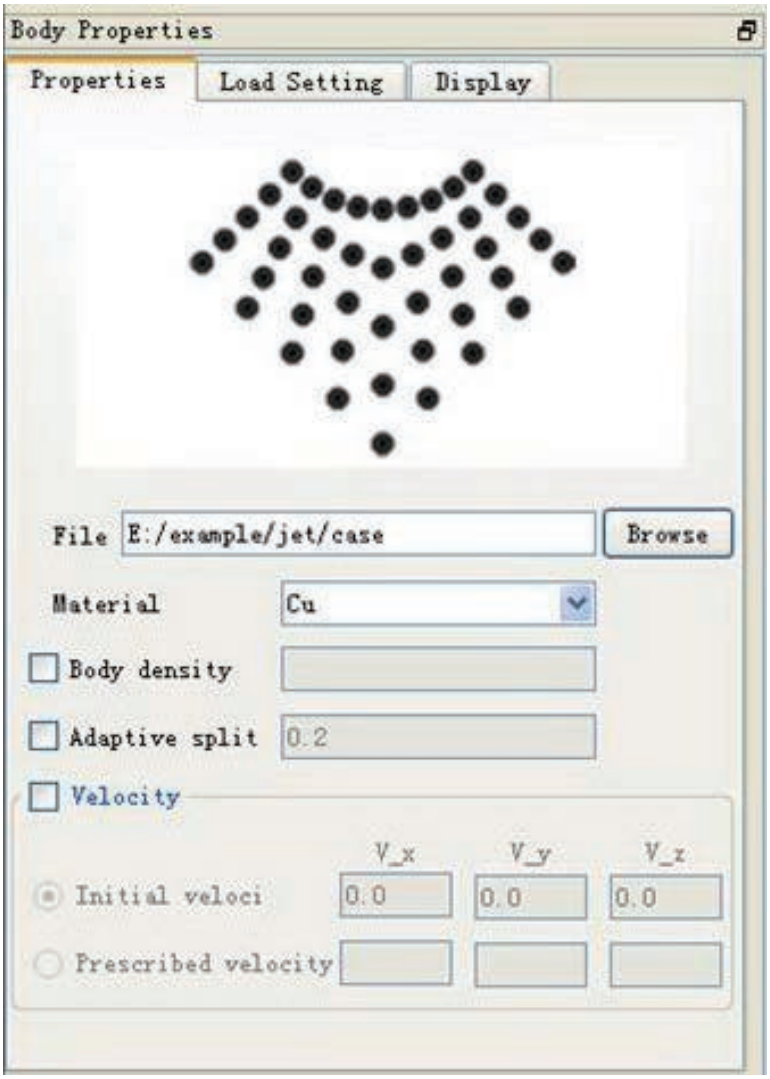


图 5.84: 新建用户自定义实体示意图

jet 组件下仍需要继续新建其他两个用户自定义实体 exp 和 liner，导入方法同上，其中 exp 填充的材料为 TNT，liner 填充的材料为 Cu。最终，由这三个 body（都是 User-Defined 类型）形成的组件 jet 的构型如图5.85所示。

同时，该 Job 需要模拟高速射流对靶体的侵彻作用，因此还需要再在该 Job 对应的 PreDataSet 下新建另一个组件 target 来模拟靶体。选择组件 target，点击菜单栏 Models->Create Block，在 jet 组件下出现 Block1，双击 Block1 将其修改成 target1。参数设置如图5.86所示。同样的方法可以创建 target2。

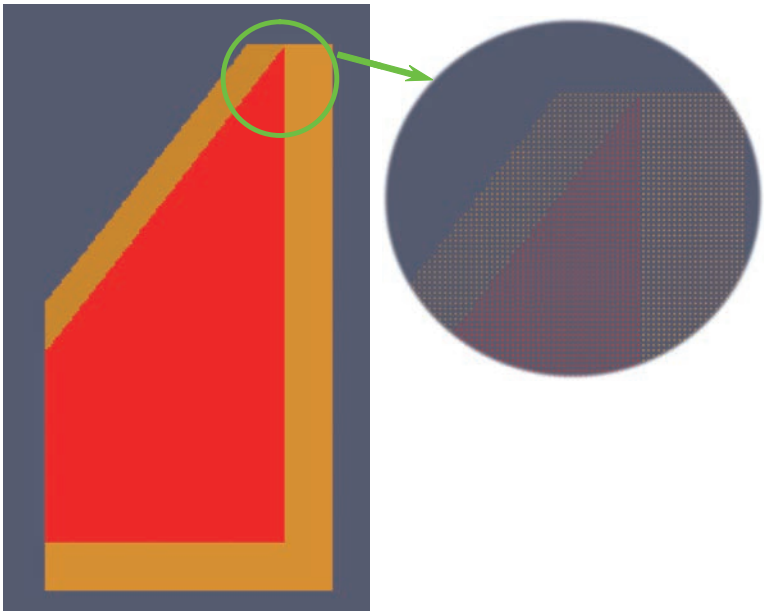


图 5.85: 组件 jet 的构型

最终，该任务几何建模的整体构型如图5.87所示。

5.7.5 背景网格设置

选择 PreDataSet Properties 中 Grid 选项卡，Grid setting 如表5.22

表 5.22: Grid setting

	Coordinate	Boundary Type
x0(Left)	0	Symmetric
x1(Right)	50	Free
y0(Bottom)	0	Symmetric
y1(Top)	0.2	Symmetric
z0(Back)	-30	Free
z1(Front)	140	Free

设置 Cell size：dcx=0.4，dcy=0.4，dcz=0.4。网格设置见图5.88。

5.7.6 接触设置

选择 PreDataSet Properties 中 Contact 选项卡，勾选“Contact on”打开接触选项，再勾选其中的“AutoCompute component weight”。其他属性不启用，保持缺省状态即可。接触设置见图5.89。

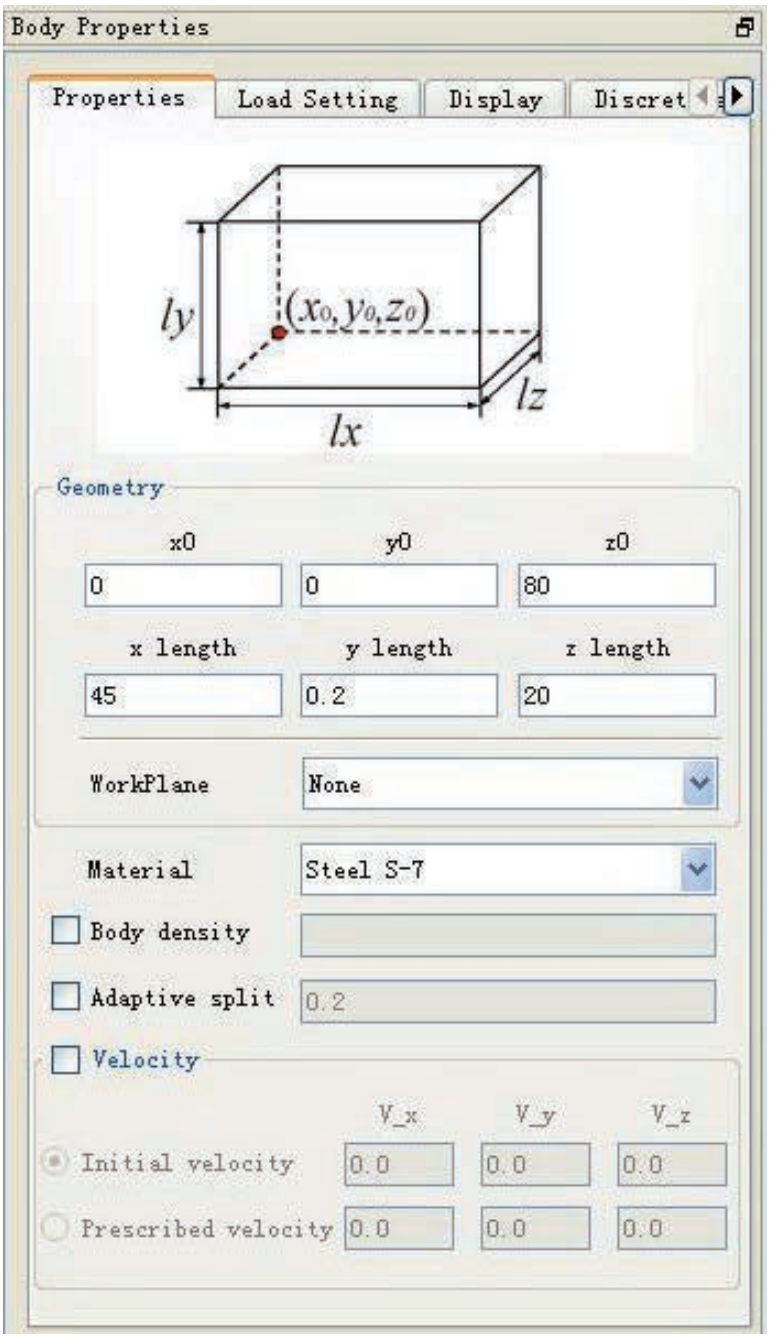


图 5.86: target1 的参数设置

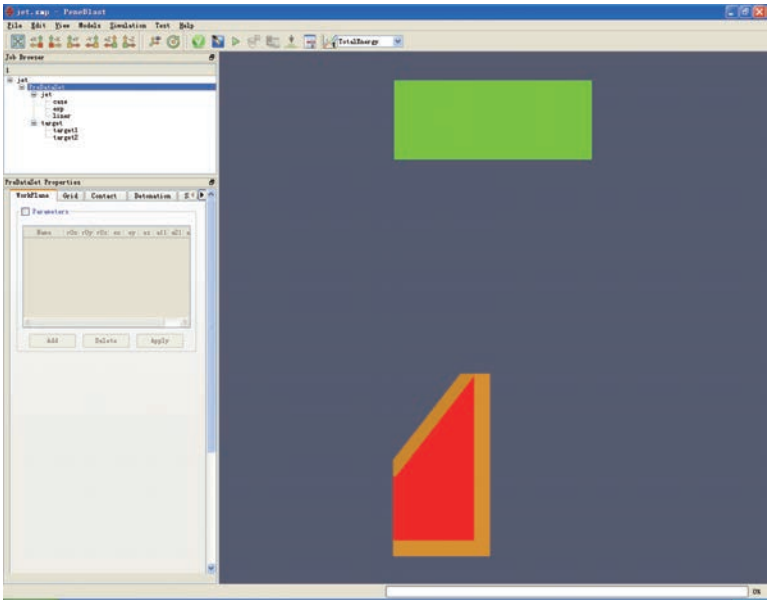


图 5.87: Jetting Job 的全局构型图

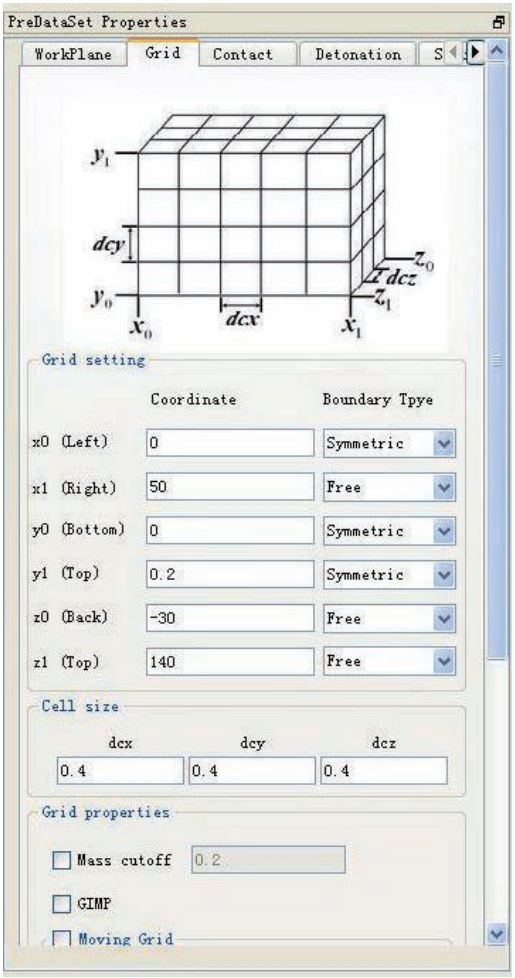


图 5.88: 网格参数设置

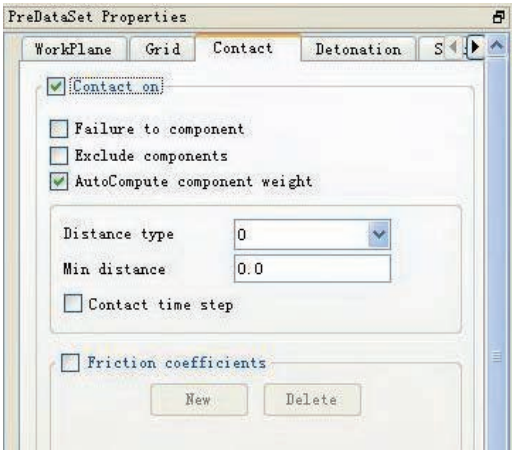


图 5.89: 接触设置

5.7.7 起爆设置

选择 PreDataSet Properties 中 Detonation 选项卡，点击“New”按钮，弹出新建起爆点/面的设置面板（如图5.90）。设置 Type 为“plane”，起爆时间 Detonation time 为 0.0；点击“+”按钮展开设置面板，继续设置其他参数：normal=”Y” location=”0.0” left=”0” right=”20” bottom=”-16” top=”0”。

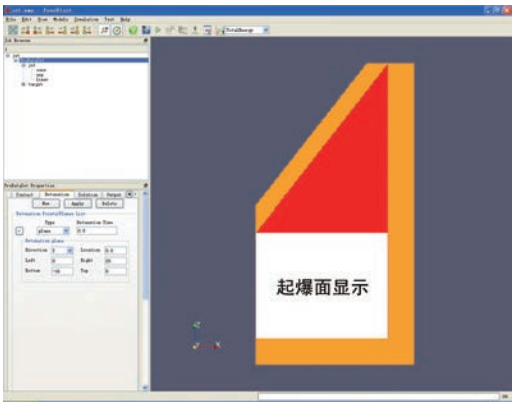


图 5.90: 起爆设置

5.7.8 求解设置

选择 PreDataSet Properties 中 Solution 选项卡（如图5.91），设置 End time：0.08，Time step factor：0.6，MPM algorithm：MUSL，Time Integration: Explicit。其他属性不启用，保持缺省状态即可。

5.7.9 输出设置

选择 PreDataSet Properties 中 Output 选项卡，设置 Console output Time interval: 0.0002；勾选 Ouput variables：epef、seqv、velocity_0、velocity_1、velocity_2，Output time

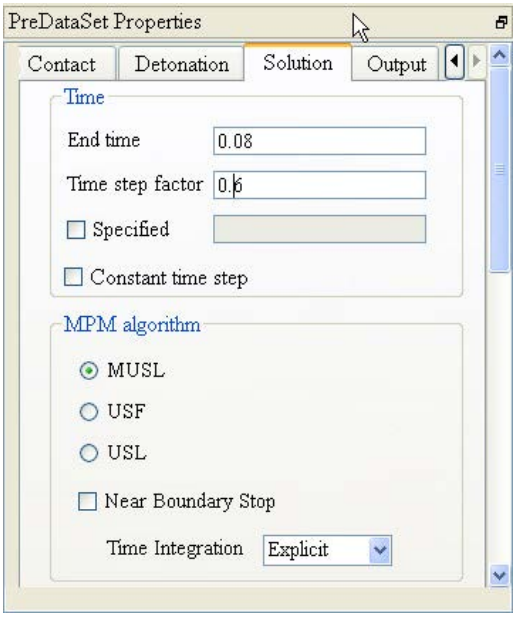


图 5.91: 求解参数设置

interval: 0.001。Output format 选择 VTK_DATA。其他属性不启用，保持缺省状态即可。输出设置见图5.92。

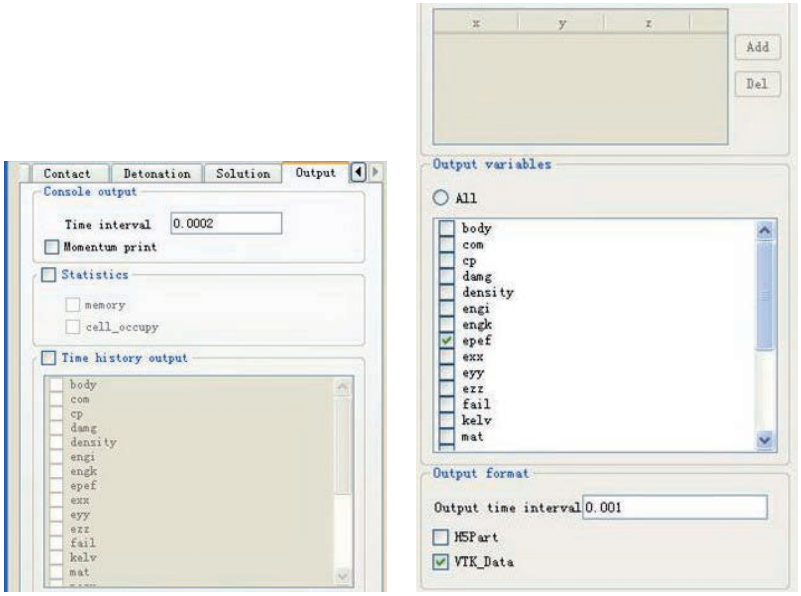


图 5.92: 输出参数设置

5.7.10 检查修改输入文件

点击菜单栏 File->Save Job 保存任务，则在 Folde 所示的路径下生成了生成 jet.xmp 输入文件。点击 Simulation->Check Input Data，或直接点击界面上的按钮检查输入文件，弹出对话框，如图5.93，表明 jet.xmp 通过格式检查。



图 5.93: 检查输入文件

5.7.11 计算监测

点击 Simulation->Real time monitor 打开实时监控，点击 Simulation->Star Compute，或直接点击界面上的▶按钮开始计算，计算过程截图如图5.94所示。

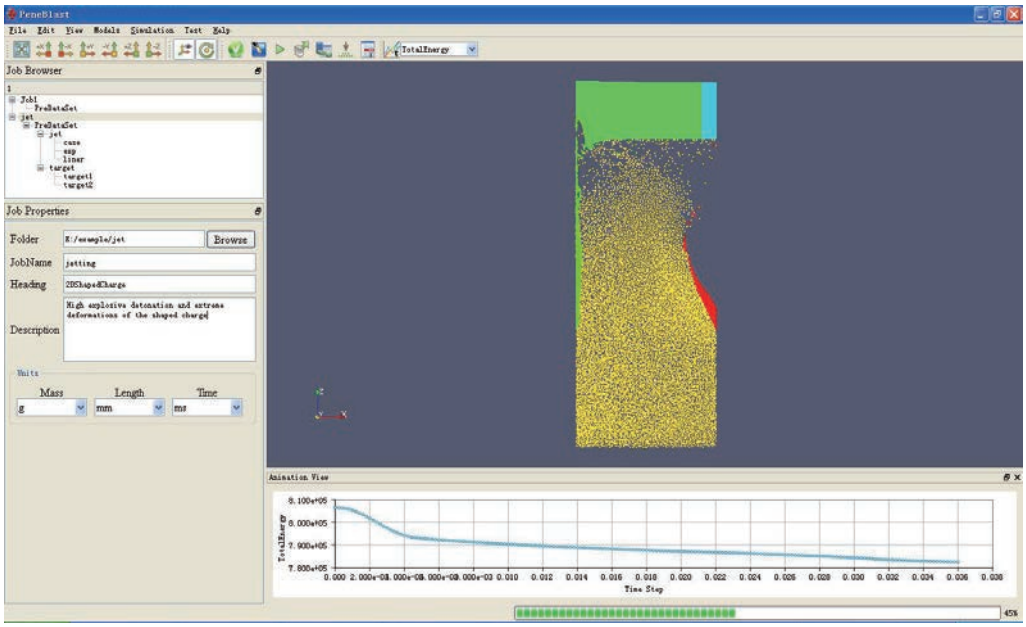


图 5.94: 计算过程监控