EIKON TECHNOLOGIES

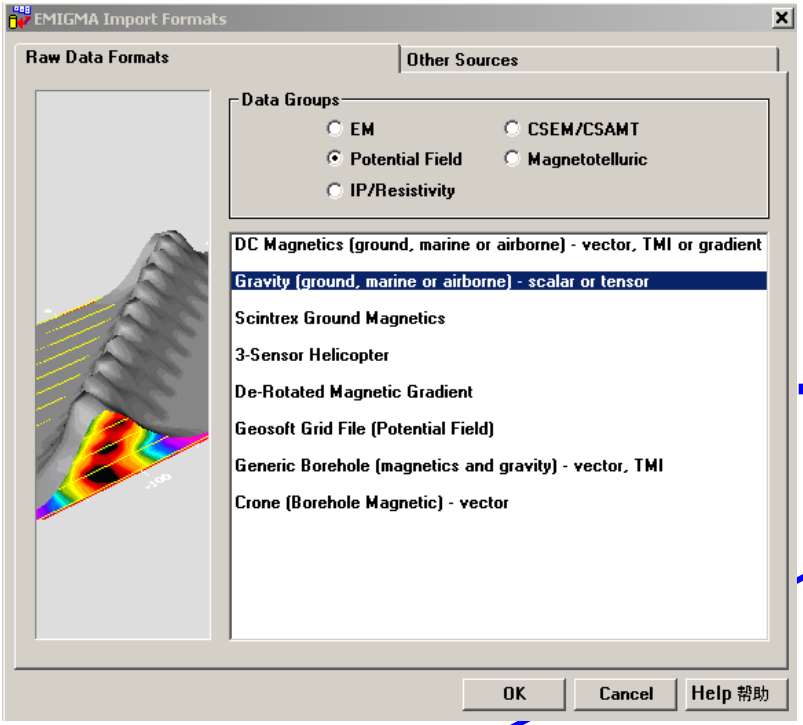
3D 重力反演
教程

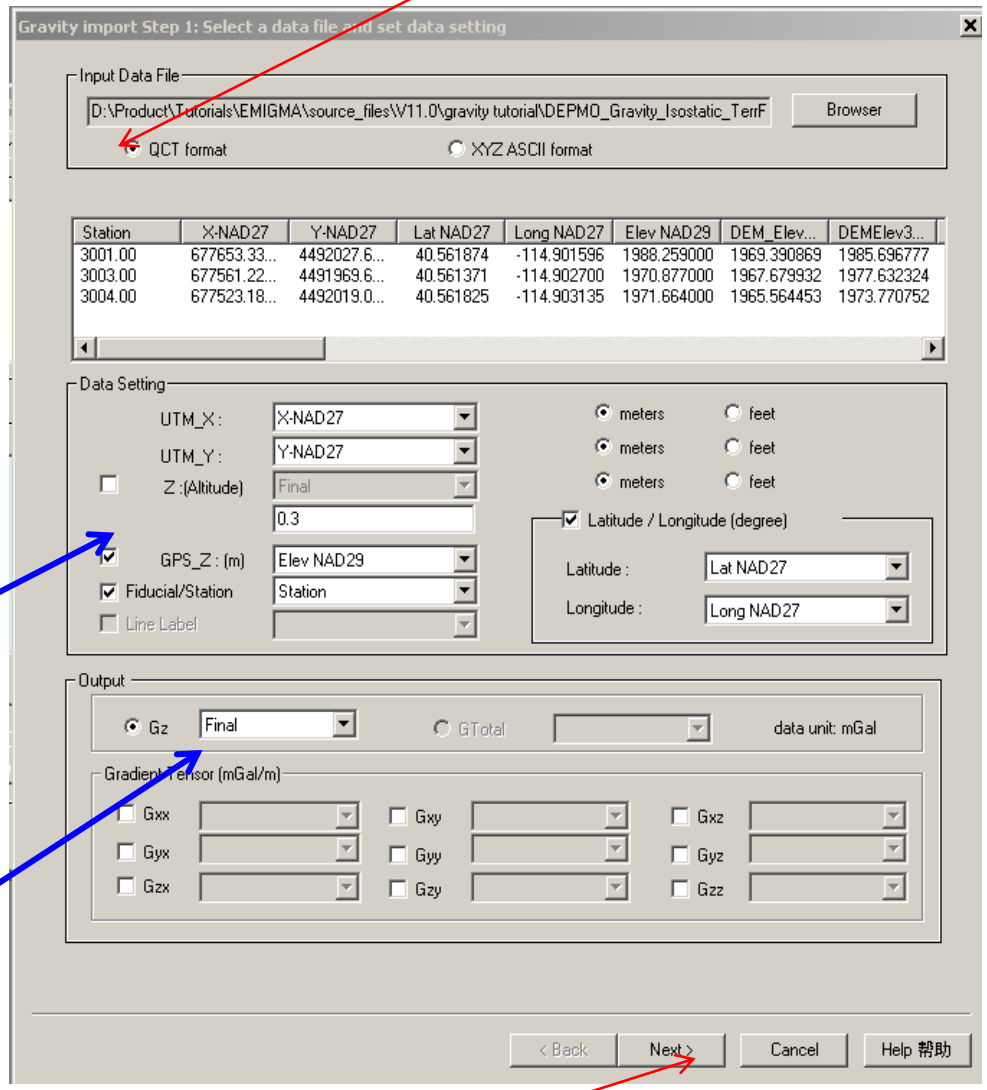
步骤：

	页
1. 将数据导入到新的或现有的数据库	**2**
2. 检查数据	**5**
3. 执行初始正向建模	**7**
4. 执行 **3D** 重力反演	**8**
5. 反演评估与处理	**19**
6. 可视化	**23**
5. 反演评估与处理	**28**
7. 导出模型	**32**

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

浏览并选择要导入的 .qct 或 .xyz 数据文件
- 推荐使用 .qct，更方便使用





设置坐标轴

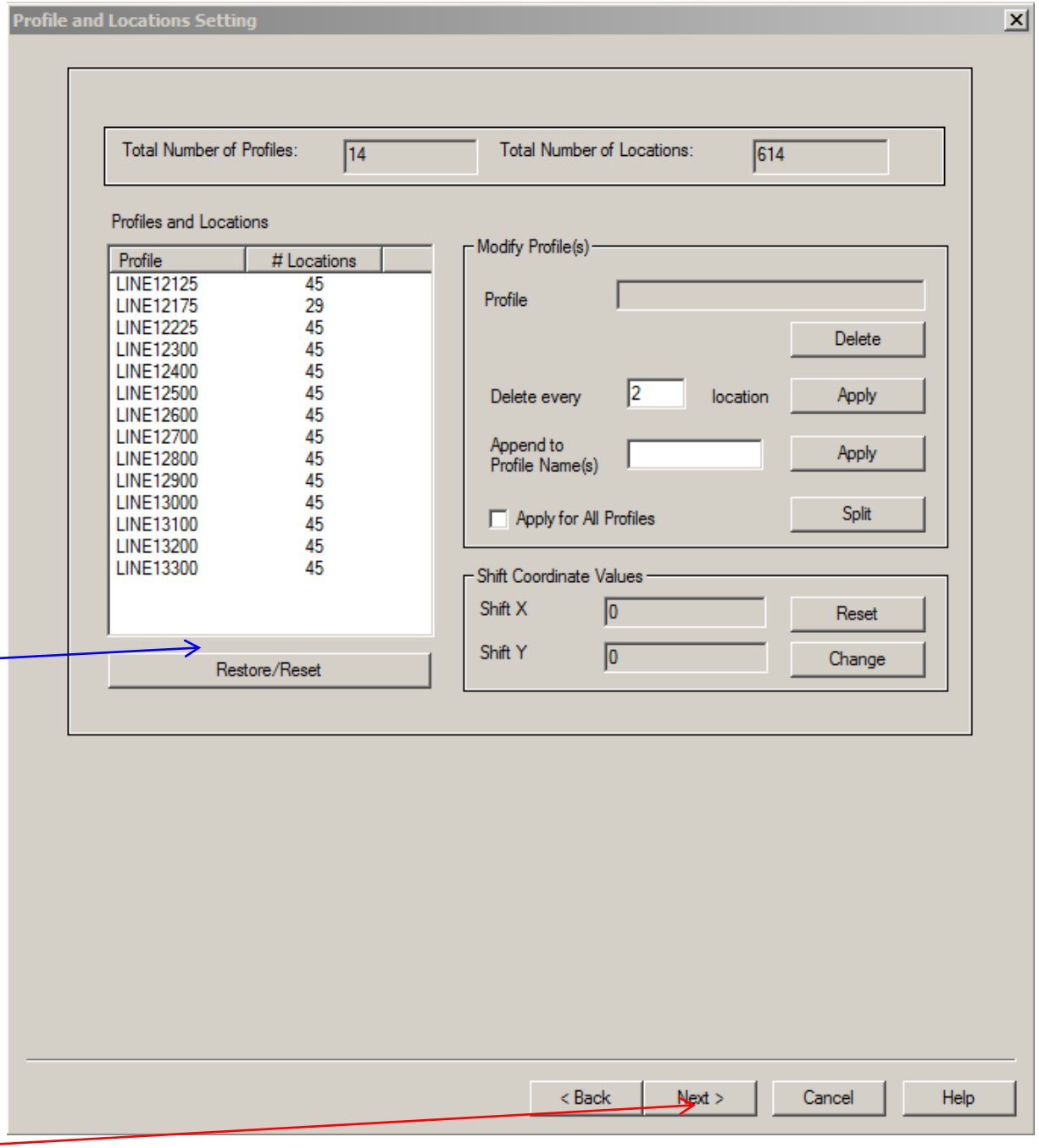
选择数据通道

点击“下一步”按钮

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

显示测线信息,

用户可在此对话框中
执行删除测线/减少测点/移动
测点坐标的操作



下一步

1. **导入数据**
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

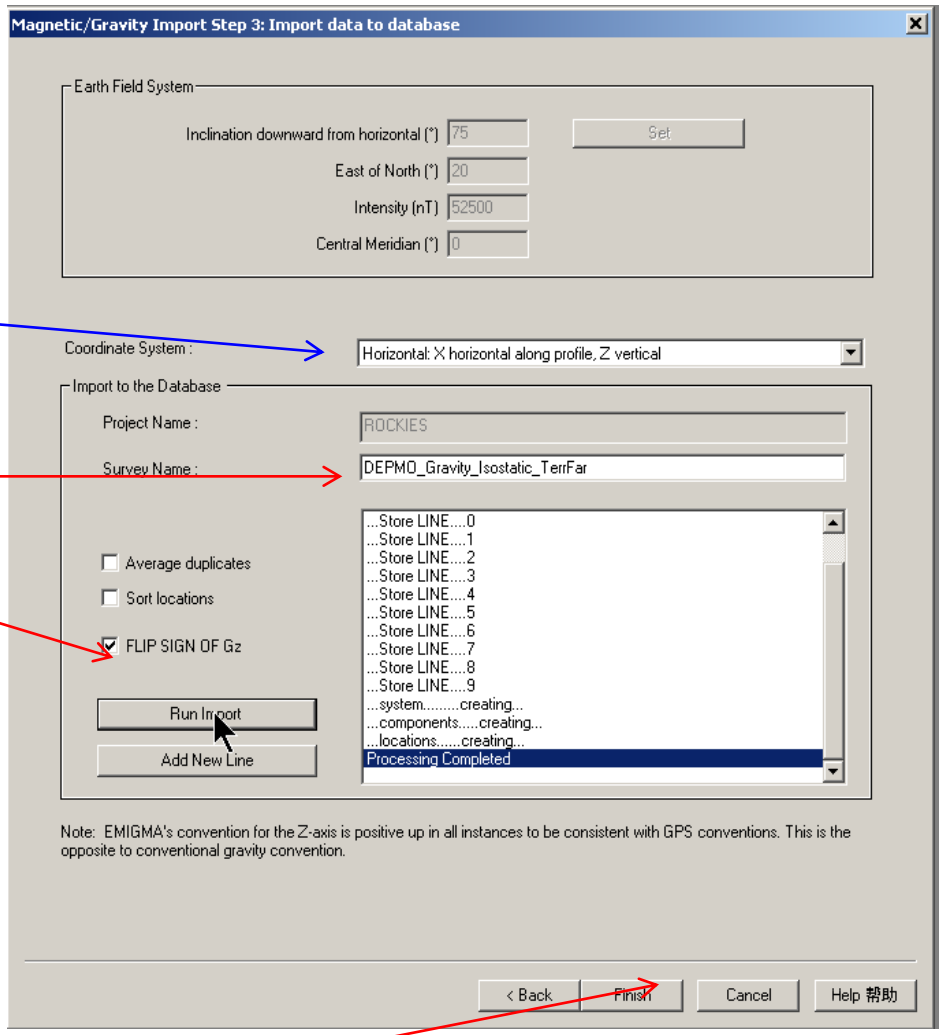
选择系统坐标系
(*请参阅手册中的定义*)

设置测量名称

必要时翻转 Gz 数据的符号
(*取决于仪器数据符号惯例*)

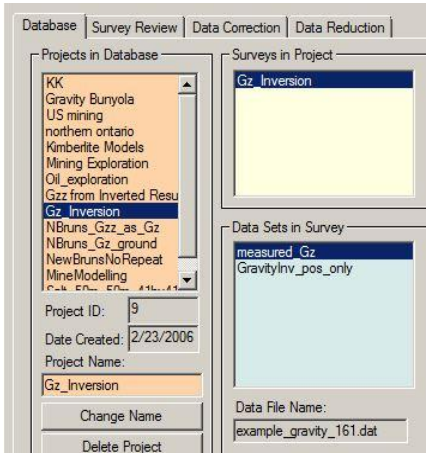
点击“运行导入”按钮将数据导入数据库

处理完成后,
点击 ‘结束’按钮
以 完成整个程序

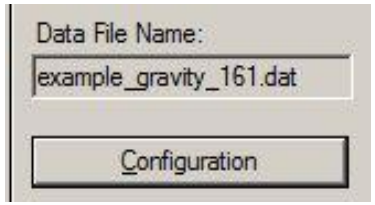


1. 导入数据
2. **检查数据**
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

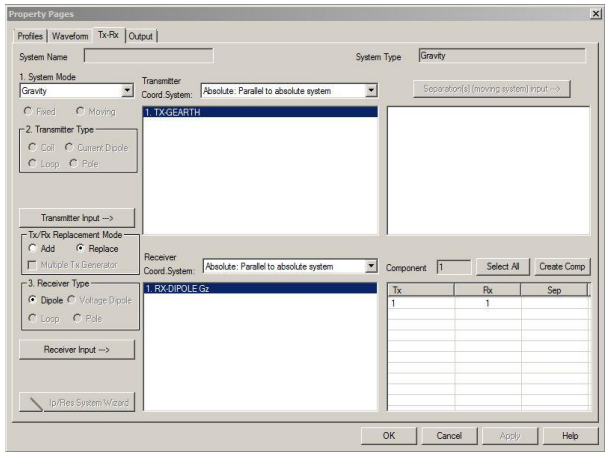
1. 在数据库中检查测量

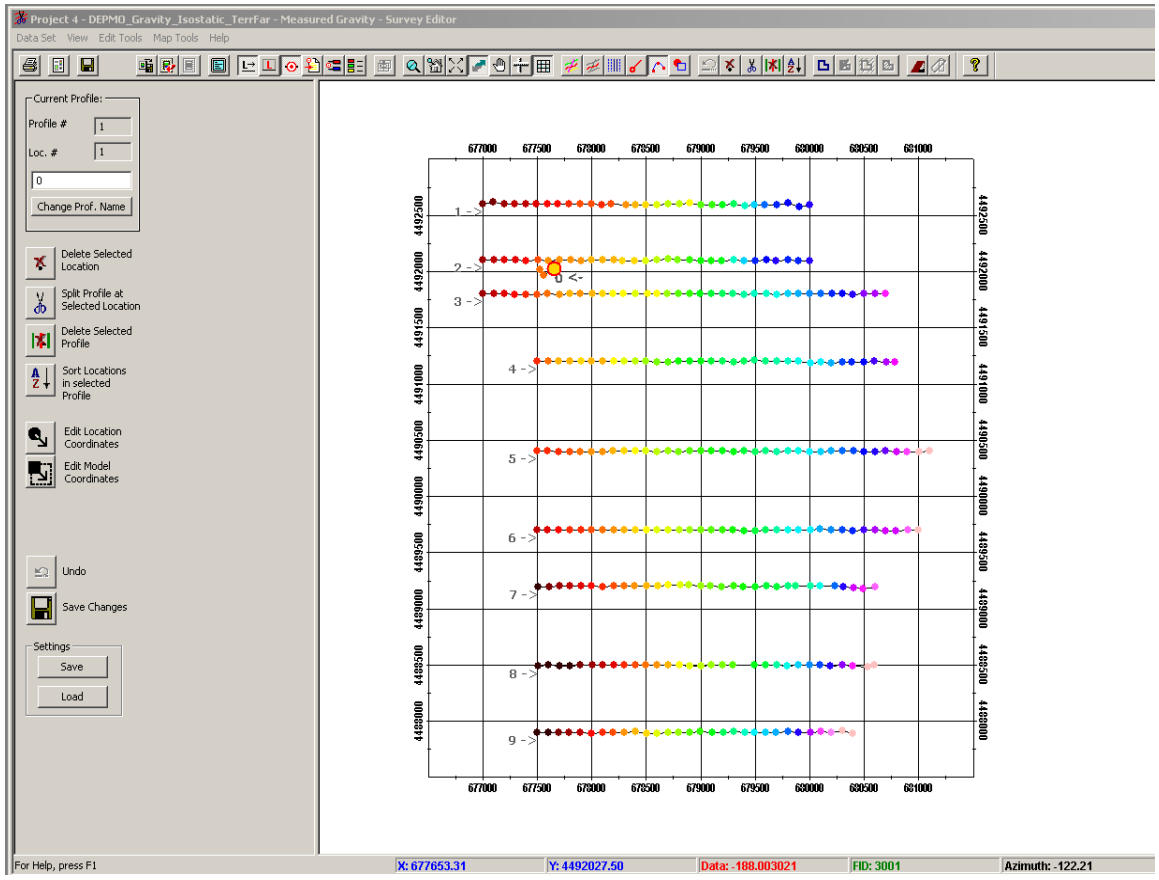


2. 点击配（Configuration）



3. 检查系统配置





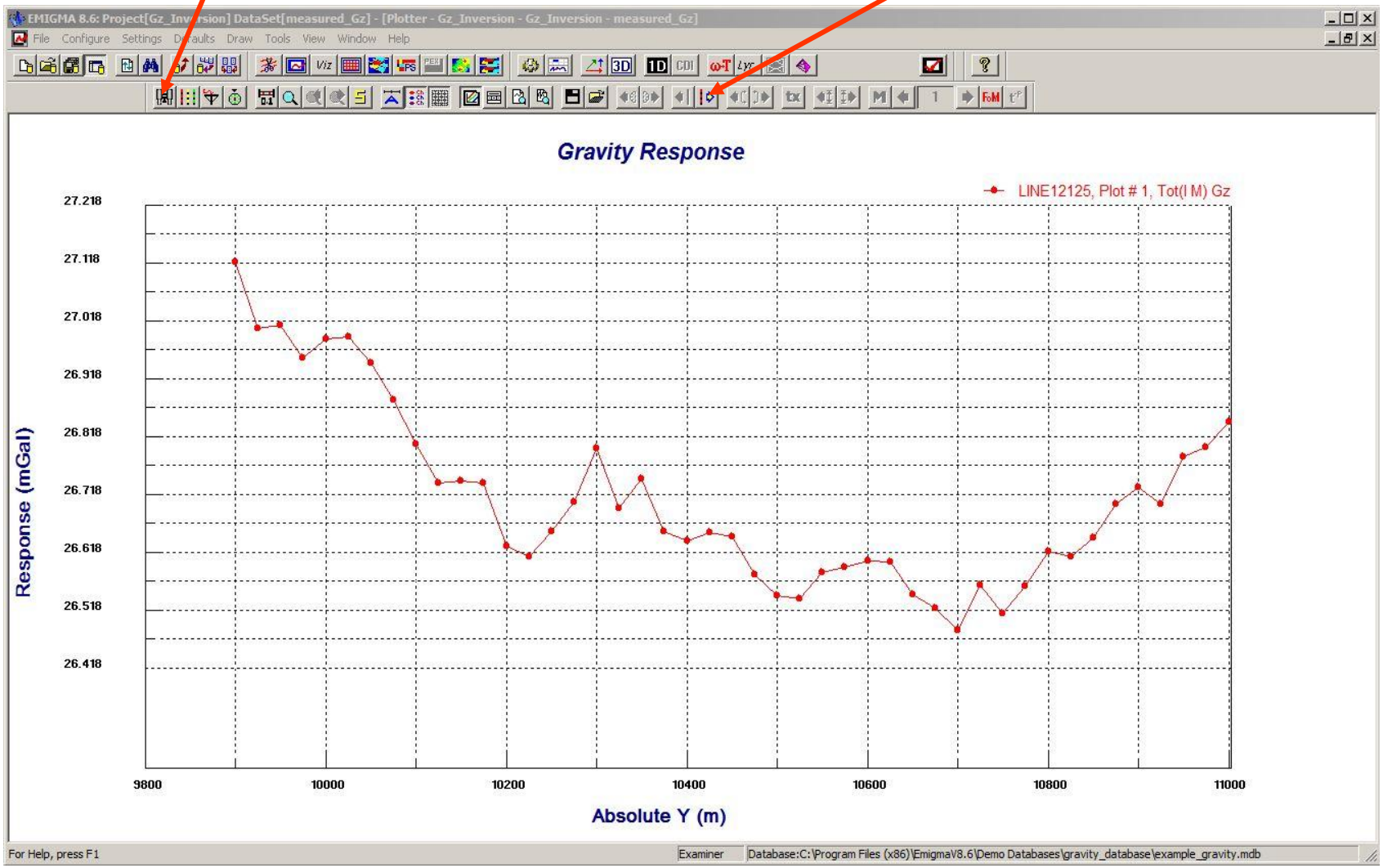
4. 用“测量编辑器（Survey Editor）”检查测线和测点

1. 导入数据
2. **检查数据**
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

点击“折线图仪（Plotter）”

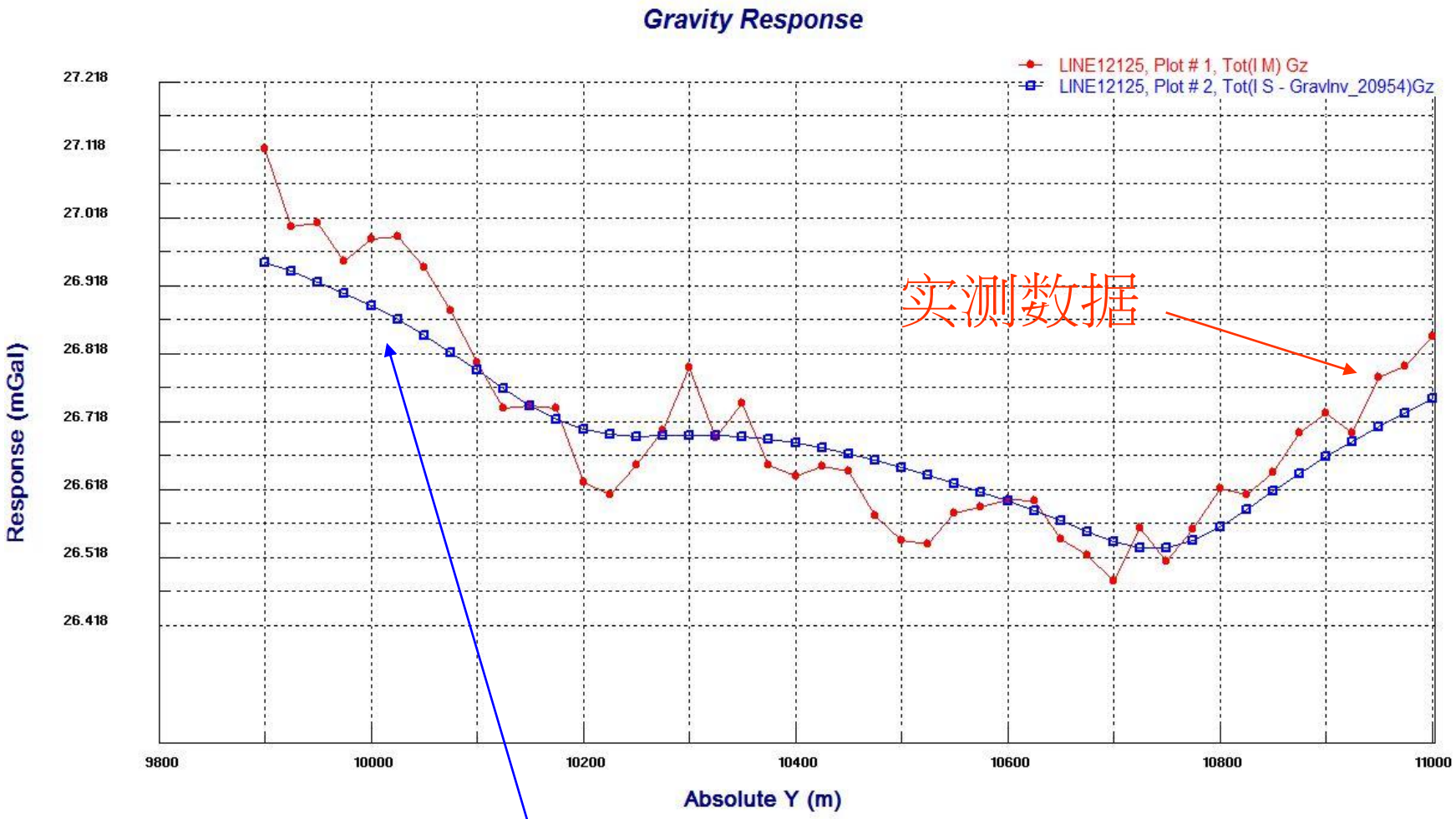
在折线图仪中加载数据集

在测线之间切换

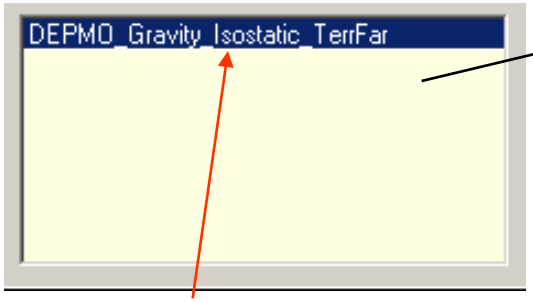


1. 导入数据
2. 检查数据
3. **执行初始建模**
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

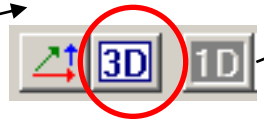
注意：进行了一些初始建模，以获得对数据的“感觉”，并估计用于反演的初始模型的参数 .

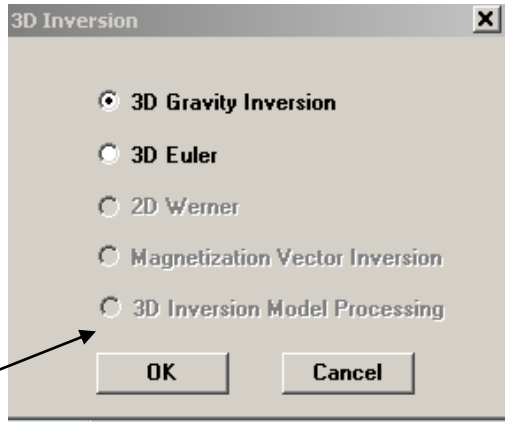


1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



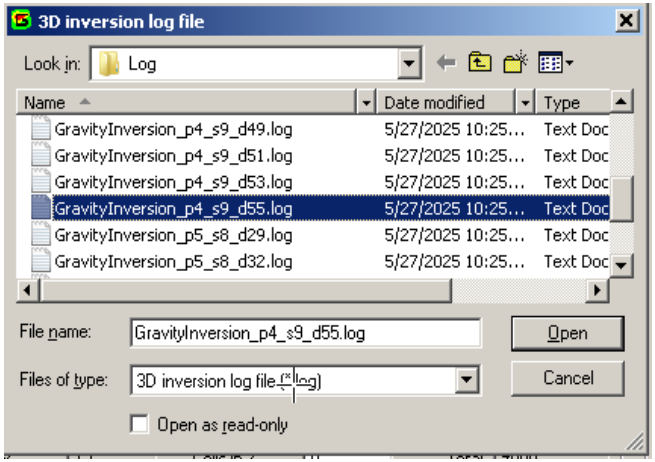
选择实测数据

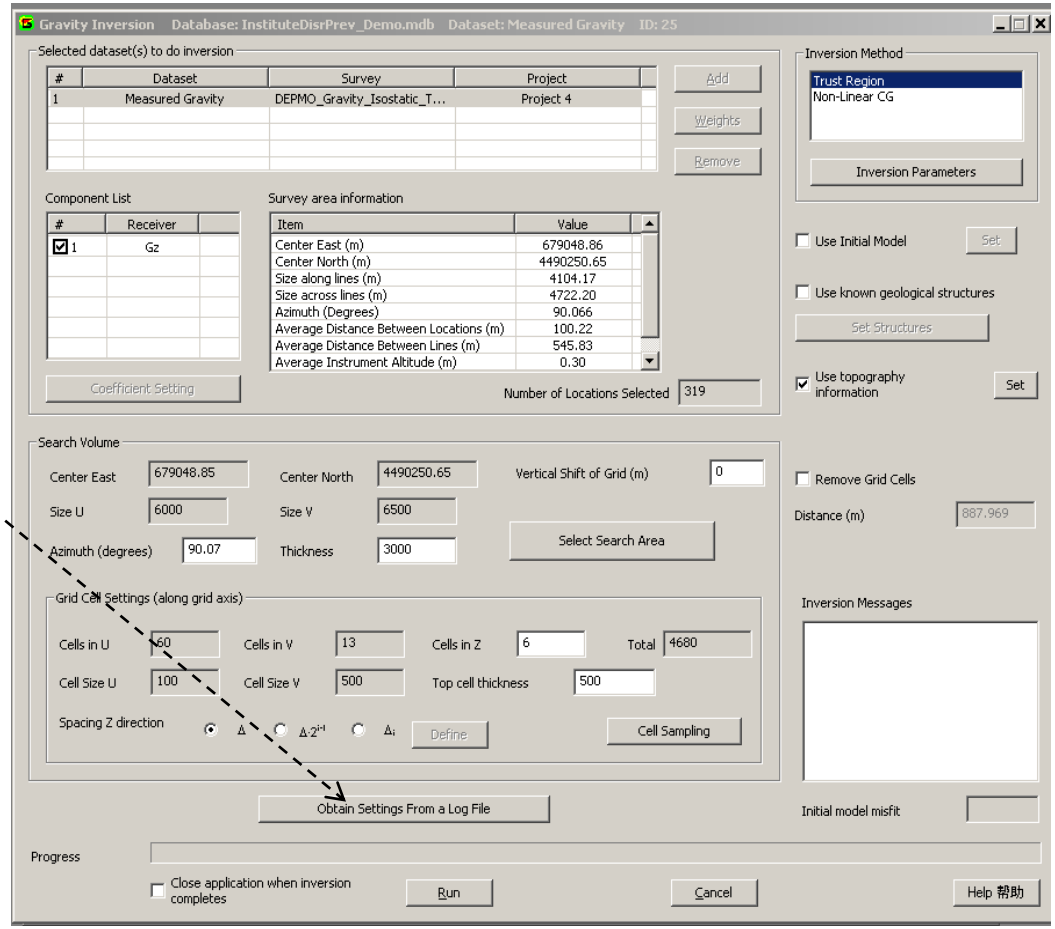




每次反演都会将参数设置保存在附加到数据库的 .log 文件中.

根据项目/测量/数据集进行标记

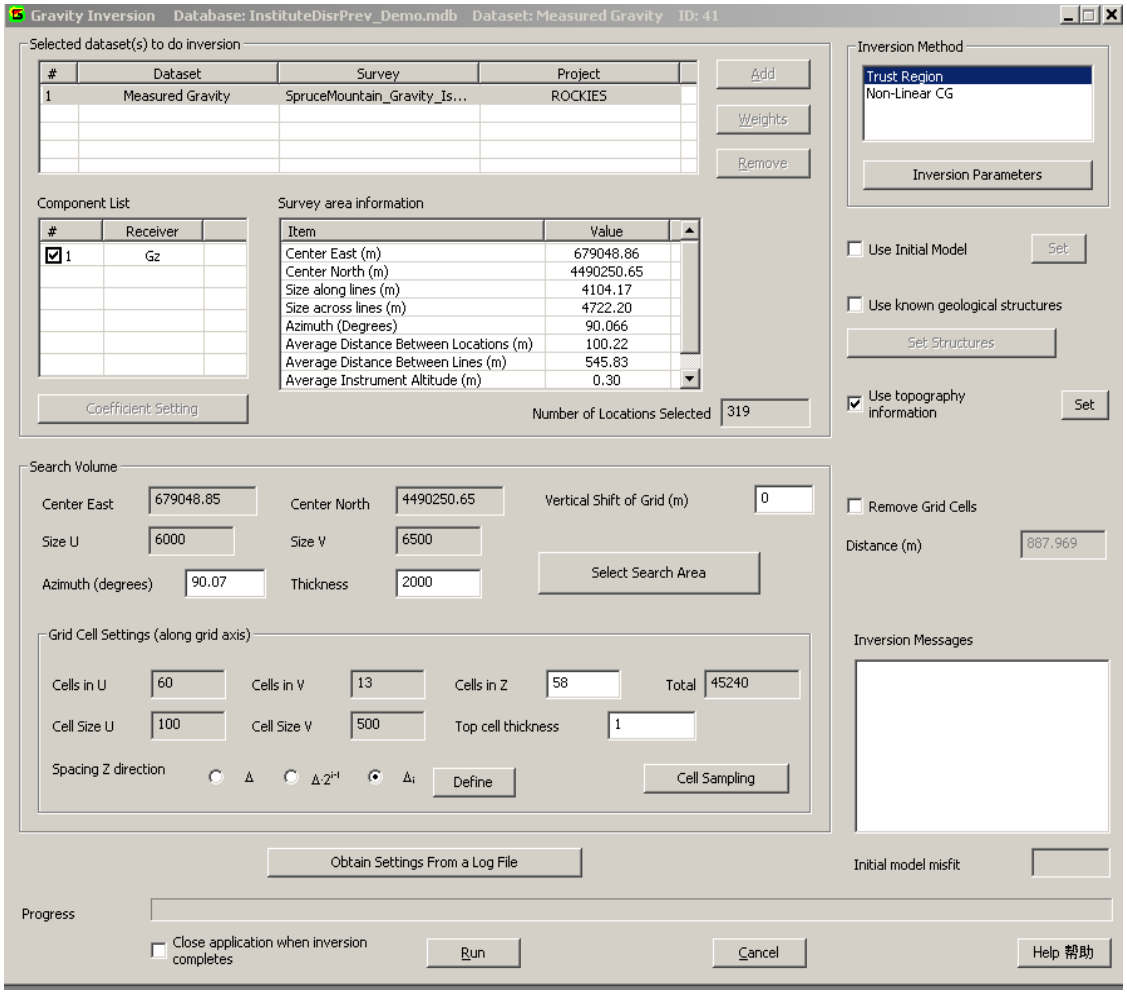




1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

选定的数据集

这确认了已加载到反演中的数据集。



接收器组件（Components）：此处选择反演中将使用的分量。例如，您可以通过傅里叶工具创建导数，并使用其中一个或多个导数。在本例中，数据表明仪器测量了垂直方向的重力场

(*i.e. 朝向地球中心*)

日志文件（Log File）：每次运行反演时都会创建一个日志文件。使用 **Obtain Settings From a Log File** 加载之前反演的设置。日志文件的名称依据 Project/Survey/Dataset 的号码.

使用地形信息（Use topography information）：如果导入数据时带有 GPSZ 数据，则此选项可用。选择此选项后，在使用 Z（高度计）通道数据进行反演时，默认情况下将使用 GPSZ 值作为绝对高程，从而提供高于地面的高度。如果您已将地形模型导入数据库，则可以将其作为地形信息使用. [设置（SET）按钮]. *注意 1: 将反演结果加载到可视化工具时，将出现一个窗口，要求您根据测量设备高度 (Z) 或 GPSZ 显示测量数据。选择后者可查看包含地形的反演结果。 注意 2: GPSZ 可以是相对于椭球体或大地水准面的高程。*

删除网格单元（Remove Grid Cells）：反演之前，距最近数据点超出指定距离（**Distance**）的单元格将从反演网格中删除。

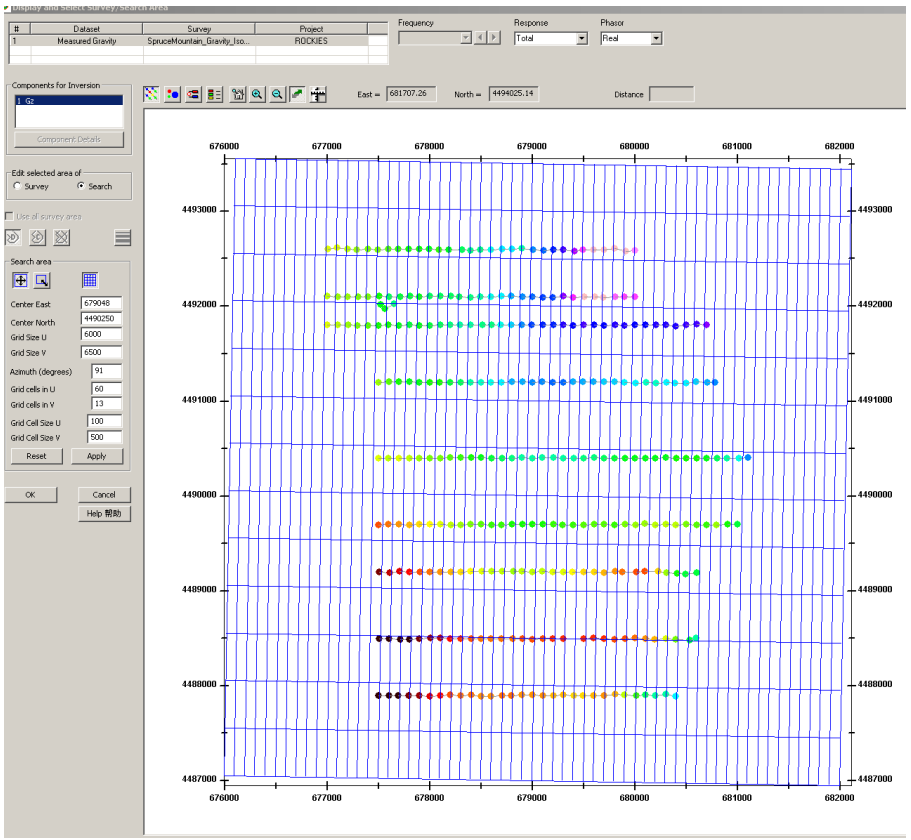
地质结构（Geological Structure）：用**Use known geological structure** 功能定义一个对反演结果施加约束的结构。

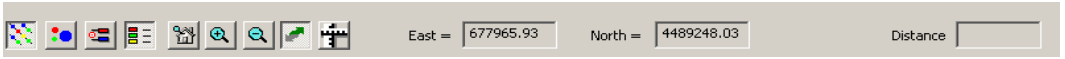
初始模型误差（Initial model misfit）：指示初始模型如何拟合数据.

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

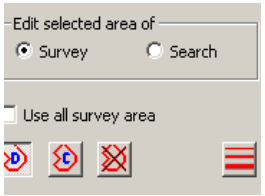
点击**Select Search Area** 按钮将启动以下窗口。“搜索区域”表示反演算法寻找模型的区域。您也可以选择要用于反演的测量区域的子集。如果想用子集，我们建议您从原始测量中提取所需的子集，并将其保存到数据库中，以便对其进行反演。

平面图显示（Display）：界面按比例显示数据位置及其值。单元格的水平分布以蓝色网格显示。测量坐标显示在轴上。

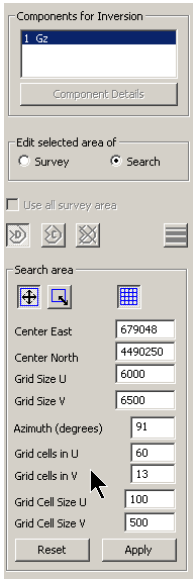




从左到右：
1. 切换测点数据显示 ON/OFF， 2. 设置数据点的大小，
3. 设置 Max/Min 用于数据显示，4. 打开图例， 5. 全景
6. 放大，7. 缩小，8. 设置纵横比– 全屏或等比例，
9. 测量距离，10. 光标位置，11. 测量得到的距离



用于定义测量区域的子集以供反演使用



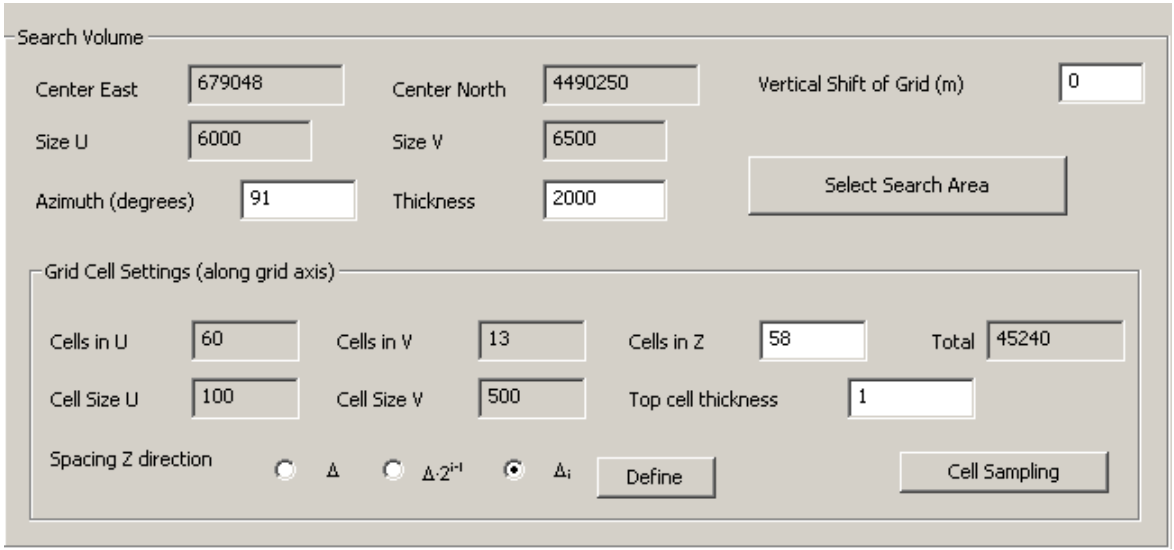
定义反演网格中的水平分区

方位角是水平网格中 U 方向与北方向的夹角。V 方向与 U 方向垂直。

完成所需更改后，点击‘Apply”按钮，查看更改并根据需要调整设置。

当满后，点击“OK”。

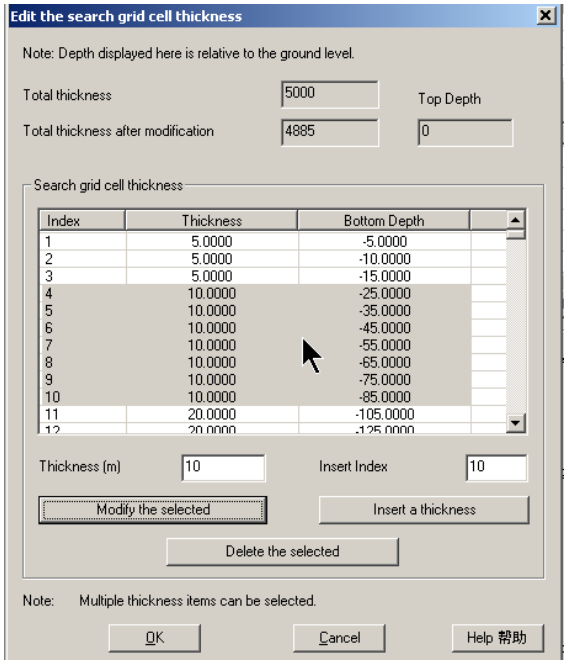
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



网格单元设置（Grid Cell Settings）
退出上一个对话框后，界面的此部分将更新汇总之前的设置。

如果这是新的反演设置，则会设置反演网格的默认厚度以及网格的垂直划分。

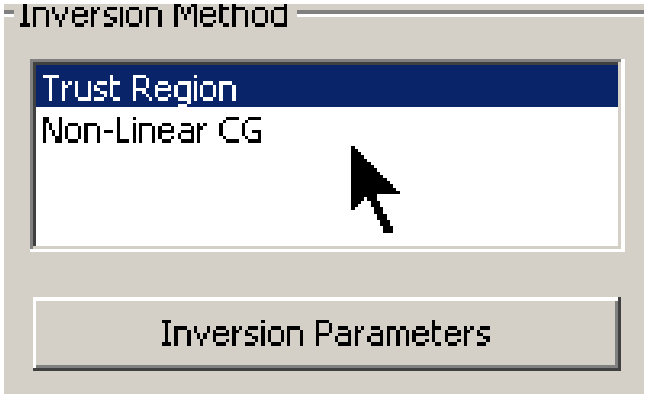
垂直网格设置（*Spacing Z direction*）
允许 3 种类型的垂直划分： 1) 均匀垂直网格(Δ)m；2) $\mathbf{\Delta \cdot 2^{i-1}}$ 指数垂直单元；3) 自定义垂直单元$\mathbf{\Delta_i}$。自定义设置可以稍后通过单击**Define**进行修改。



其它设置：
反演网格中的单元总数显示在旁边的“Total”处。

单元取样（Cell Sampling）:
在反演过程中，每次迭代都会模拟当前模型迭代的数据，并计算模型梯度。这些计算是对当前迭代网格密度的积分。准确地说，这个过程也是对每个网格单元的积分。观测点处单元质量的贡献不仅仅是假设该单元在某一点（例如中心）的质量。在计算正演模型时，大多数反演的概念是将每个单元的质量表示在其中心点。然而，在这里，您可以通过在每个单元上定义一个网格以表达每个单元的贡献，从而改进结果。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



反演算法（Inversion Methods）：

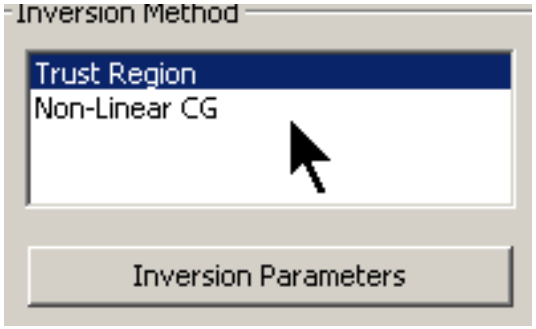
这里首先要说明一点。对于目前大多数为PC设计的地球物理反演过程而言，反演技术可以描述为“寻觅”技术。反演算子并非像经典反演定义中那样线性化。相反，反演沿着一个参数移动以达到最小值，然后再移动到另一个参数，依此类推。如何使它们沿着每个参数最小化，由一些优化技术定义，例如共轭梯度（Conjugate Gradient.）。

EMIGMA’s 反演算法更为传统，目的是 i) 充分利用物理学定义的非线性算子将数据与地球物质特性关联起来，ii) 充分利用每台计算机的全部内存容量，iii) 利用多核处理单元。

信赖域（Trust Region (Matrix)）- 使用物理矩阵算子的直接反演技术。该技术使用改进的信赖域（Trust Region）反演方法。受约束 反演 技术。

非线性CG（Non-Linear CG） – 这是当今地球物理学中较为标准的技术。其基本概念是先给出一个初始估计，然后通过迭代过程最小化给定函数来寻找最佳拟合模型。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



非线性CG（Non-Linear CG）

一般概念是从初始猜测开始，通过使用迭代过程最小化给定函数来寻找最佳拟合模型。

优化结果的关键因素：

- 良好的正向模拟算法
- 良好的最小化技术
- 良好的起始模型
- 良好的数据

无约束共轭梯度最小化（Unconstrained Conjugate Gradient Minimization）

该技术利用导数信息构建两个正交向量序列，以定义给定迭代的搜索方向。然后，通过反复试验（线搜索）向该方向的局部最小值移动。当梯度达到所需的最小值时，迭代停止。这是一种无约束最小化技术，其中参数的边界是在搜索完成后施加的。

$$\phi(m) = \lambda\, \phi_d(m) + \phi_m(m)$$

$\phi(m)$ - 功能最小化
$\phi_d(m)$ - 数据误差
$\phi_m(m)$ - 模型误差
λ - 拉格朗日乘数
正则化权重

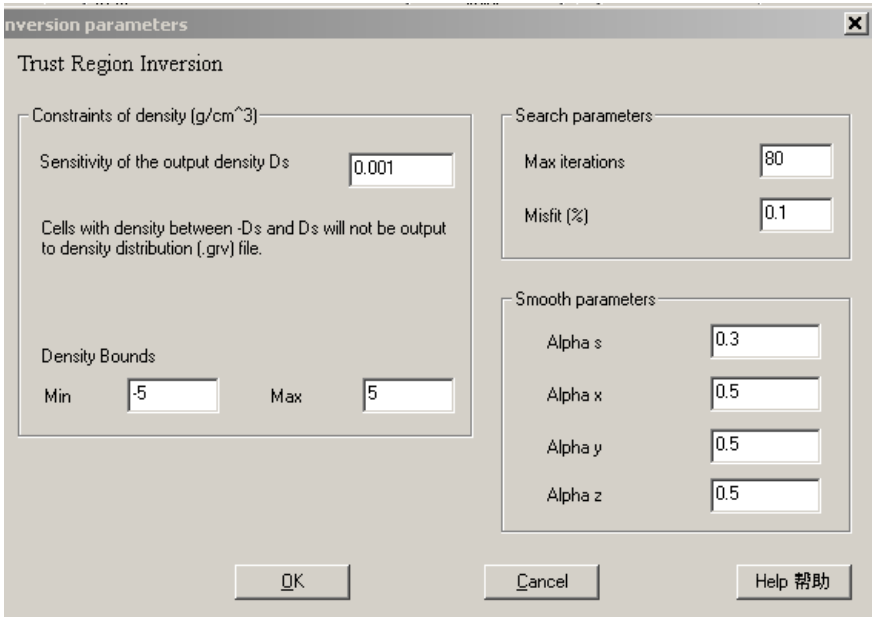
Occam 式模型误差函数

$$\phi_m(m) = \alpha_0 \int w^2(z)\, [\, m(r)-m^0(r)\,]^2\, dv \quad +$$

$$\sum_{i=x,y,z} \alpha_i \int [\, w(z)\, \nabla_i\, (\, m(r)-m^0(r)\,)\,]^2\, dv$$

α_I - 加权因子
$w(z)$ - 深度方向加权

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



反演参数（Inversion Parameters）

最大迭代次数（Maximum Iterations）

用户定义程序生成最终解决方案所需的迭代次数。通常，默认值是最低要求.

误差（Misfit (%)）

定义当测量数据和模拟数据之间的差异在测量值的一定百分比范围内时，迭代的“停止”标准。

平滑参数（Smooth parameters）

值越大，反演结果的平滑度越高。

Alpha s 减小密度值的整体范围 。

Alpha x, y, z 分别减小 x、y 和 z 方向上两个相邻单元的密度差异。

Constraints of Density (g/m^3)

输出密度灵敏度（Ds : Sensitivity of output density）：

具有密度 |ρ| (接近 0，如用户定义)的单元在每次迭代后都会受到约束或被丢弃，并且不会输出到密度分布（.grv）文件。

密度边界（ Density Bounds ）：

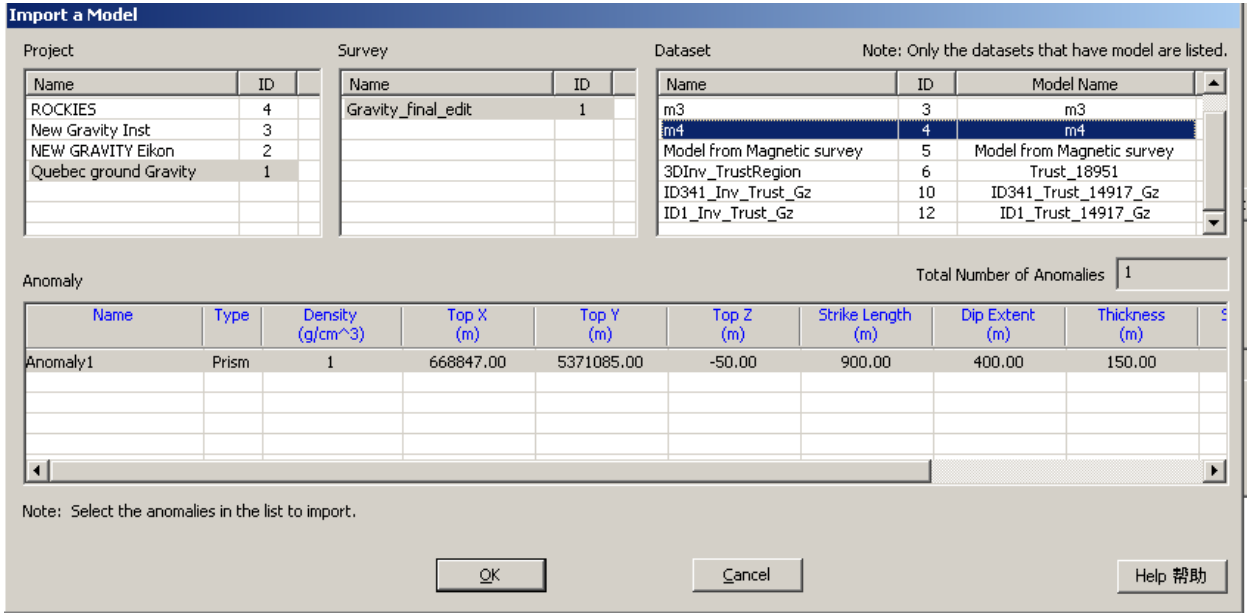
最小和最大密度 (g/cm^3)

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

初始模型

勾选标有 **Use Initial Model** 的选项设定初始模型。单击 **Set Initial Model** 按钮返回初始模型窗口。

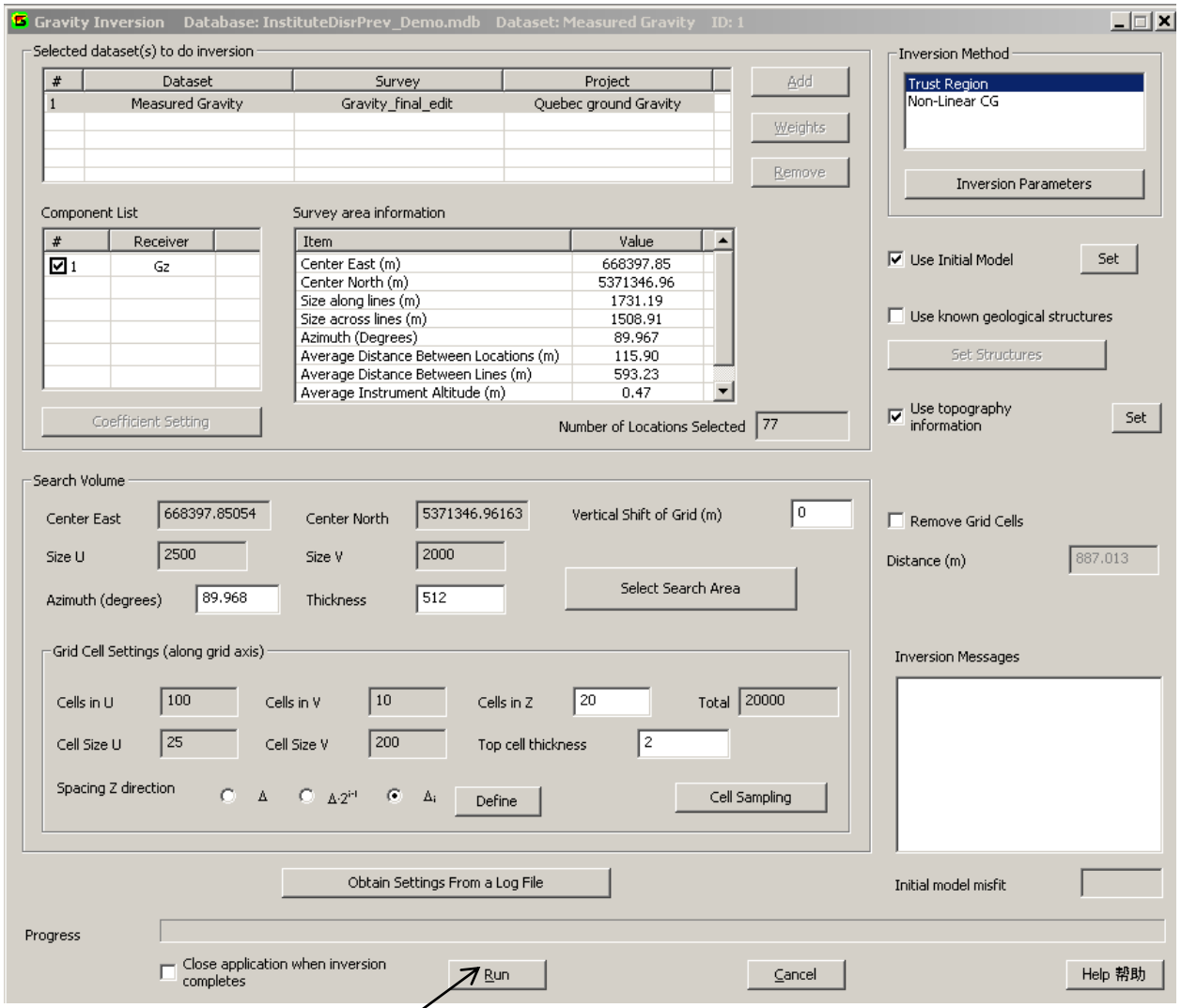
起始模型可以有两种形式：i）先前开发的包含一个或多个长方体和/或多面体的正向模型，或 ii）先前的反演模型。



选择起始模型：

起始模型必须在您当前的数据库中。如果不在，请从包含所需模型的数据库中导入包含该模型的数据集。然后，依次选择“项目”、“调查”和“数据集”以获取模型。

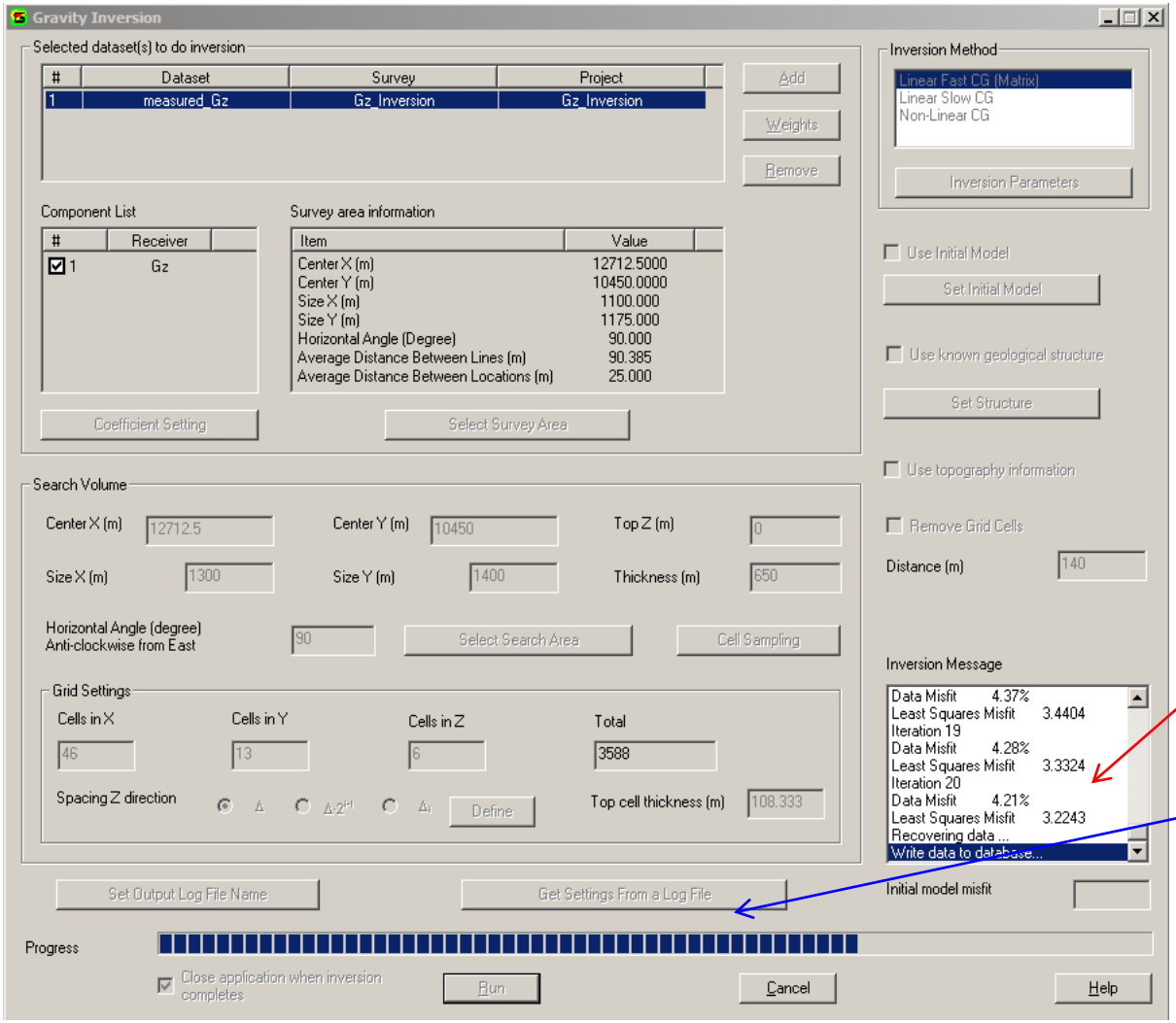
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型



- 完成所有设置后，点击 **Run** 按钮开始反演。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. **执行 3D 重力反演**
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

执行反演



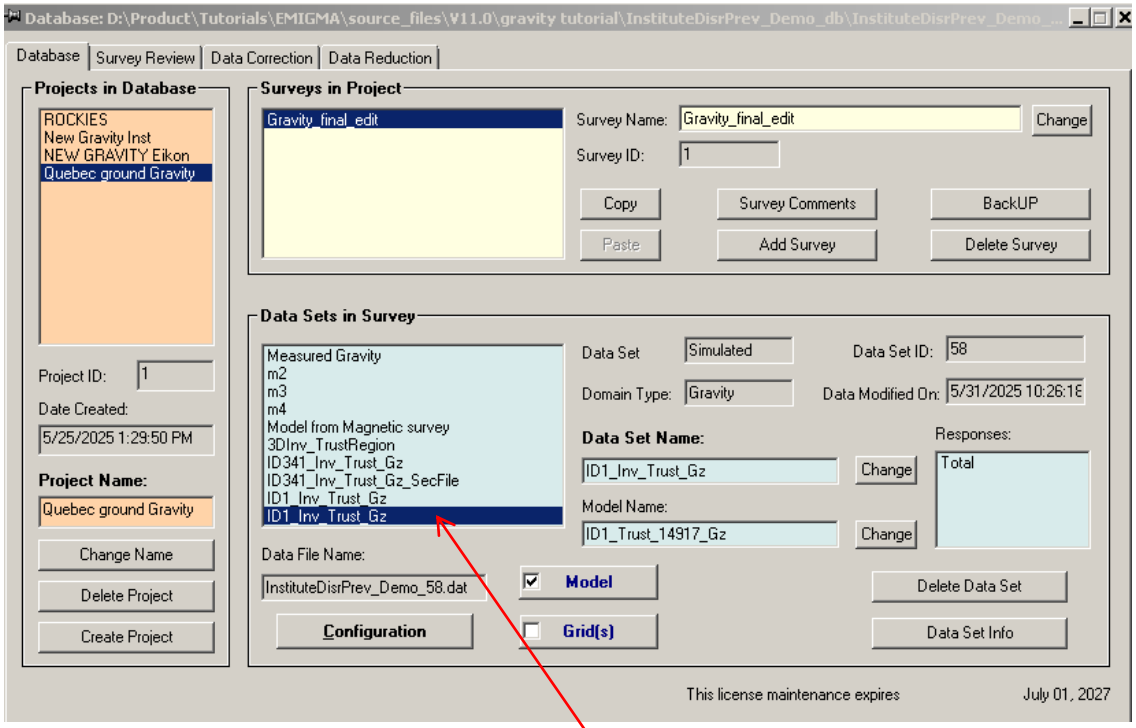
右侧窗口显示反演进度。

“进度”栏以图形方式显示反演进度。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. **反演评估/处理**
6. 可视化
7. 导出模型

反演 评估

在数据库中的每个测量中，会有经过正演模拟、反演和模型处理后产生的多个数据集。在本例中，有来自 4 个正演模型、4 个反演模型以及一个反演模型的一组剖面的数据集。每个模型模拟会生成一个新的数据集，其中包含与该数据集关联的模型和模拟数据。同样，每次反演都会生成一个新的数据集，其中包含反演模型的模拟数据集，反演模型会附加到该数据集上。

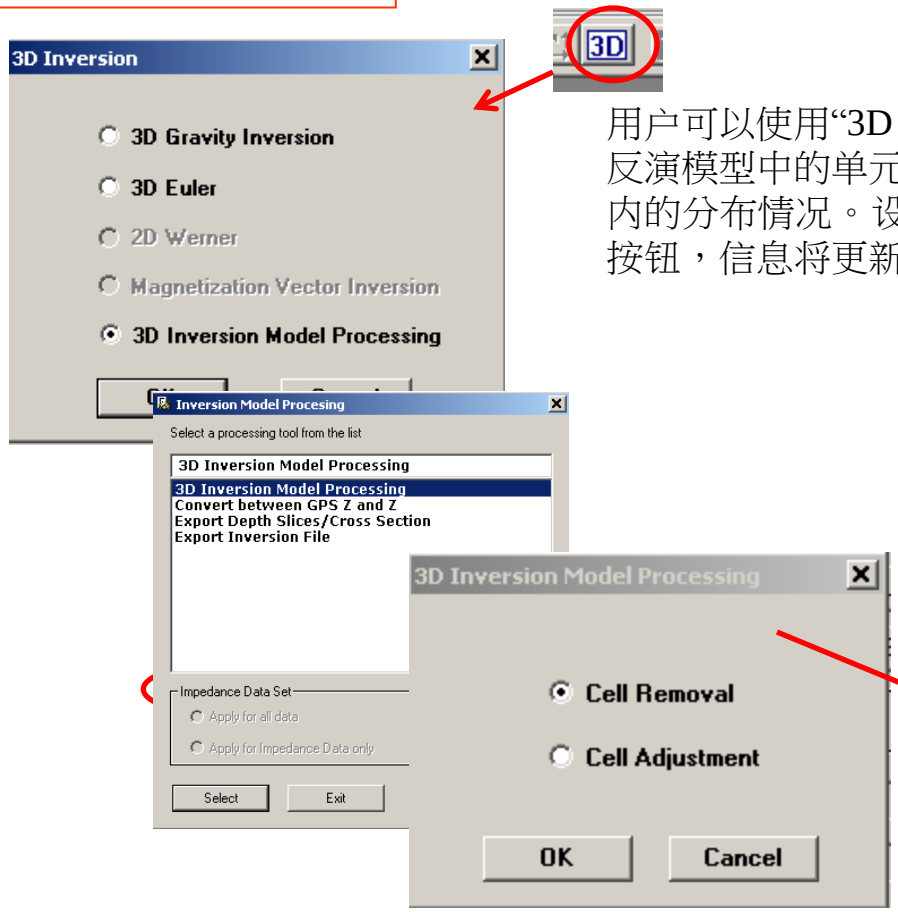


我们的三维重力反演模型数据集

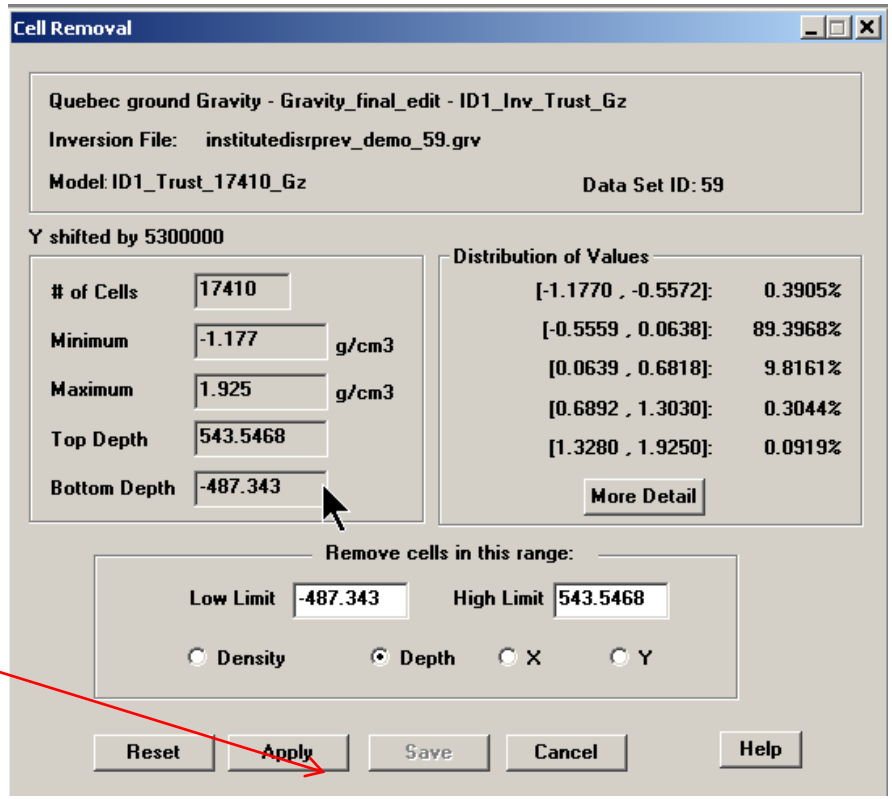
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演模型处理

反演结果的处理流程有很多种，这些流程适用于所有二维/三维反演应用。导出功能稍后会介绍。有时，需要反演结果是相对于地下深度的，有时则需要相对于高程基准。



用户可以使用“3D 反演模型处理（ 3D Inversion Model Processing ）”工具 i) 移除反演模型中的单元，和/或 ii) 调整模型中的单元。下方界面显示所选参数在单元内的分布情况。设置参数的范围用于移除单元。选择移除范围后，点击“APPLY”按钮，信息将更新。可进行不止一次的移除操作。



定义移除范围后，点击“Apply”按钮

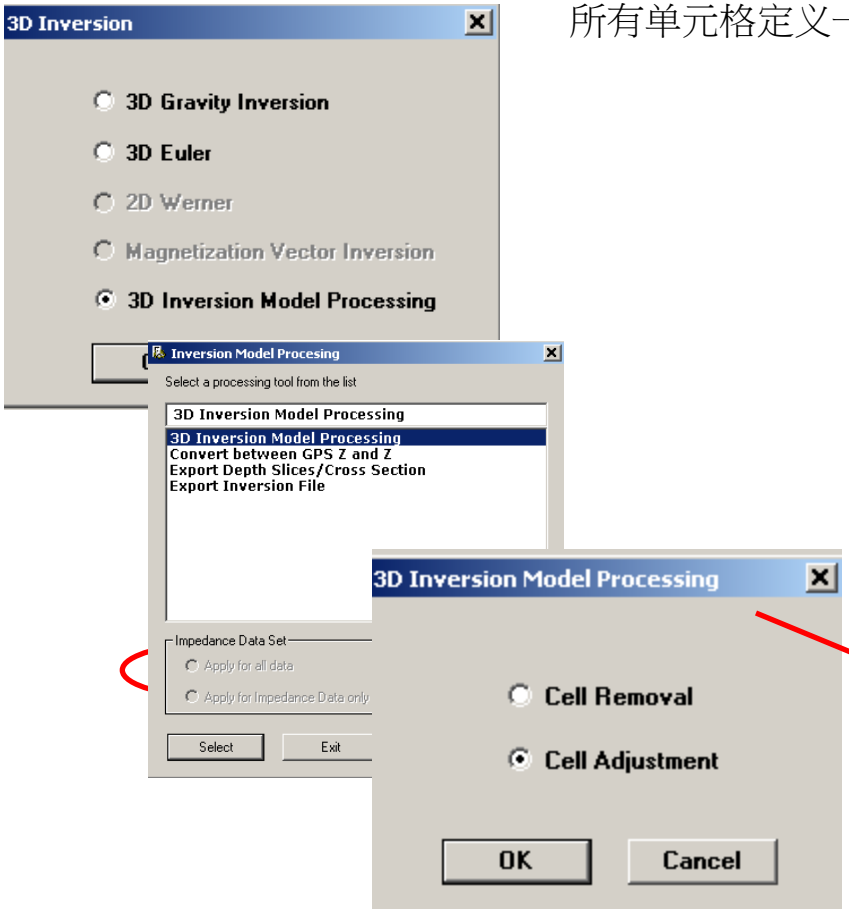
此功能的一个用途是去除多余的单元，以便识别密度对比的主要密度。

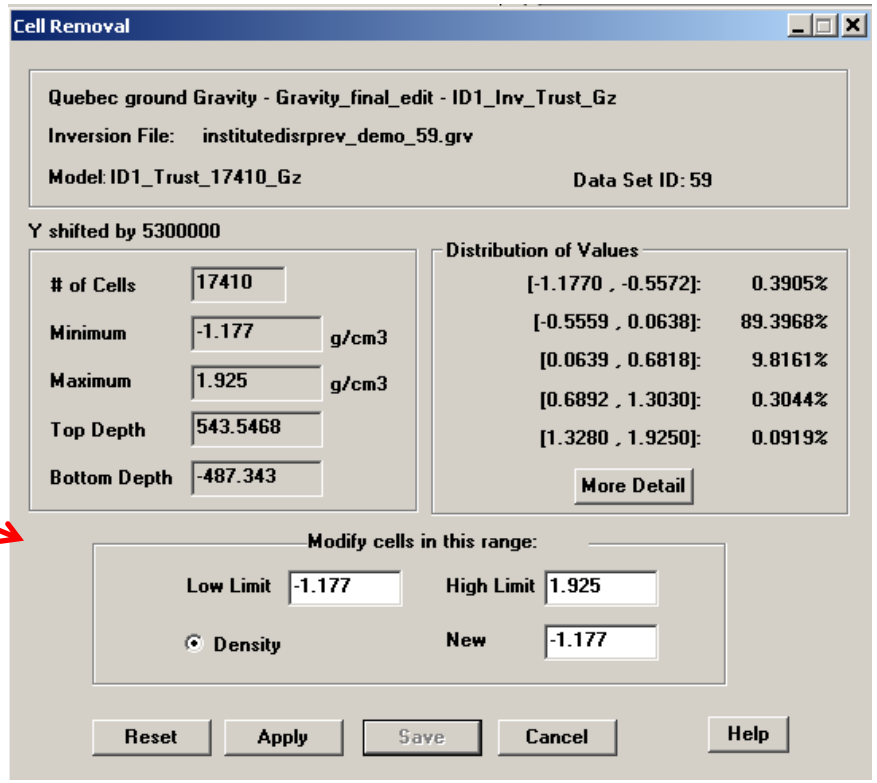
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演 加工

反演结果的处理流程有很多种，这些流程适用于所有二维/三维反演应用。导出功能稍后会介绍。有时，需要反演结果是相对于地下深度的，有时则需要相对于高程基准。

此功能允许用户修改单元格的密度。首先选择一个密度范围，然后为该范围内的所有单元格定义一个新的密度。单击“APPLY”即可完成更改。





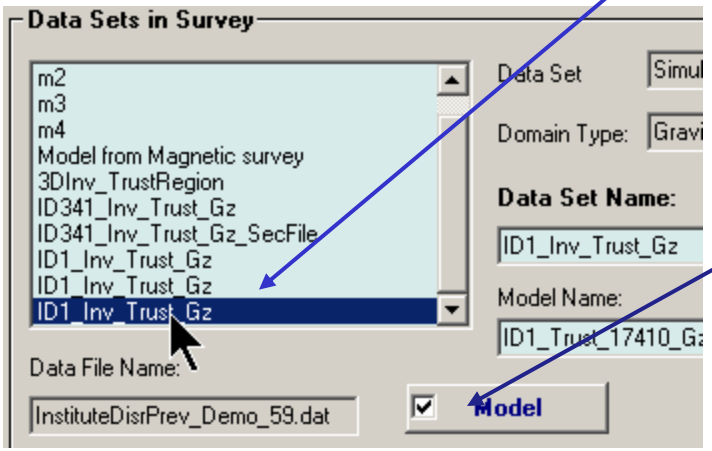
定义修改范围后，单击“Apply” 按钮

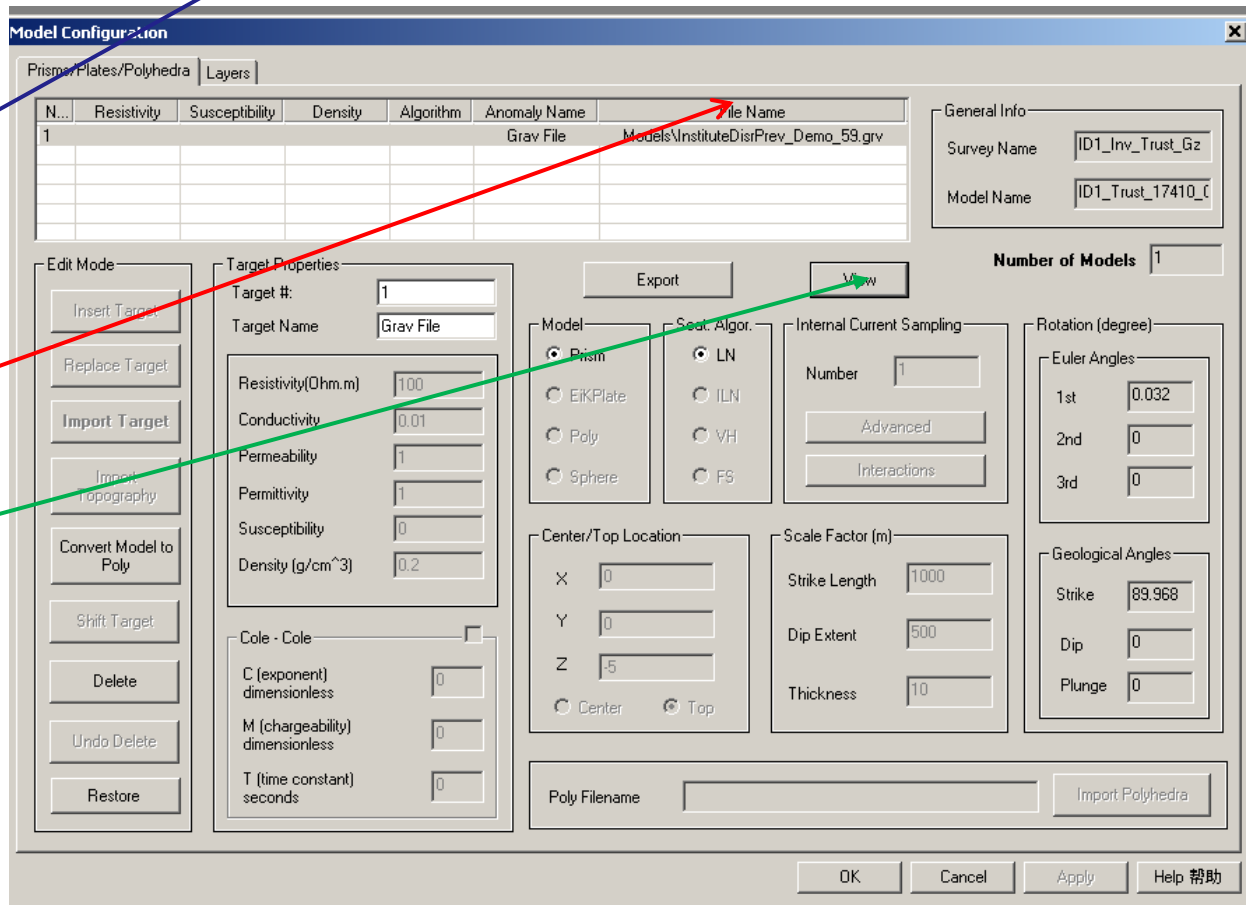
此功能的一个用途是调整结果反演，为使用修改后的反演模型作为进一步反演的起始模型做准备。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演评估

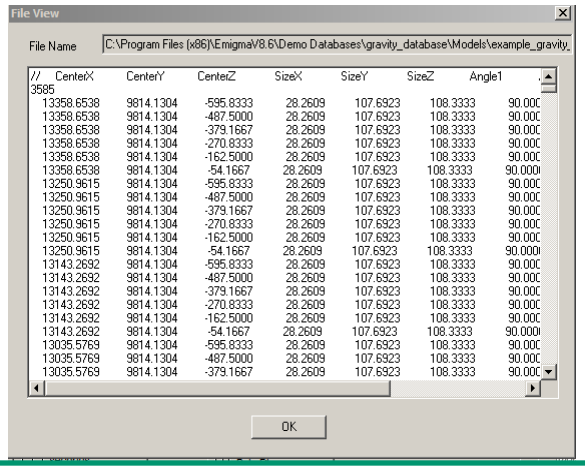
选择一个反演结果。您会注意到“Model”按钮已被勾选。点击“Model”按钮，将打开以下界面。





该模型将保存为“.grv”文件，其名称和文件夹显示在表格的“文件名”中。

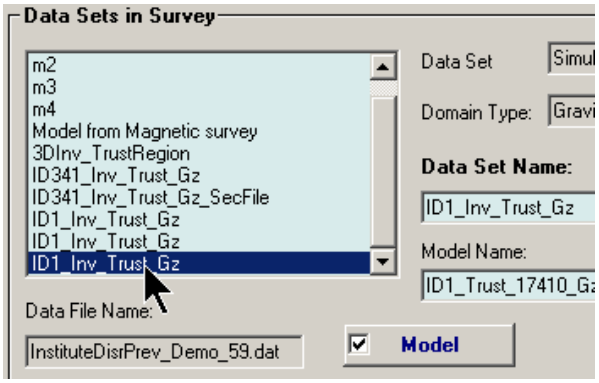
点击“View”按钮打开此文件 . . .

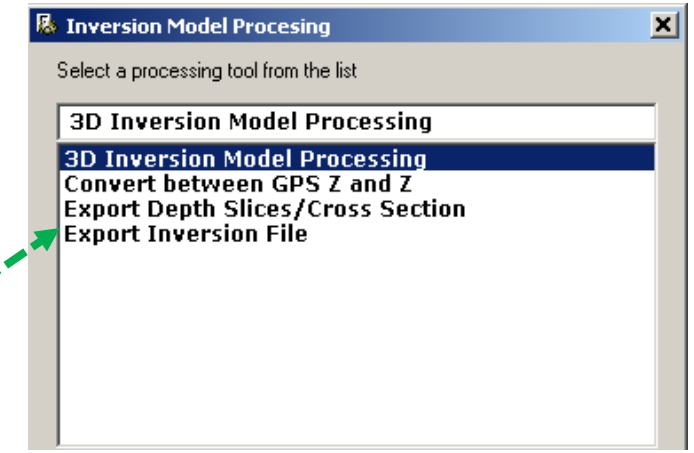


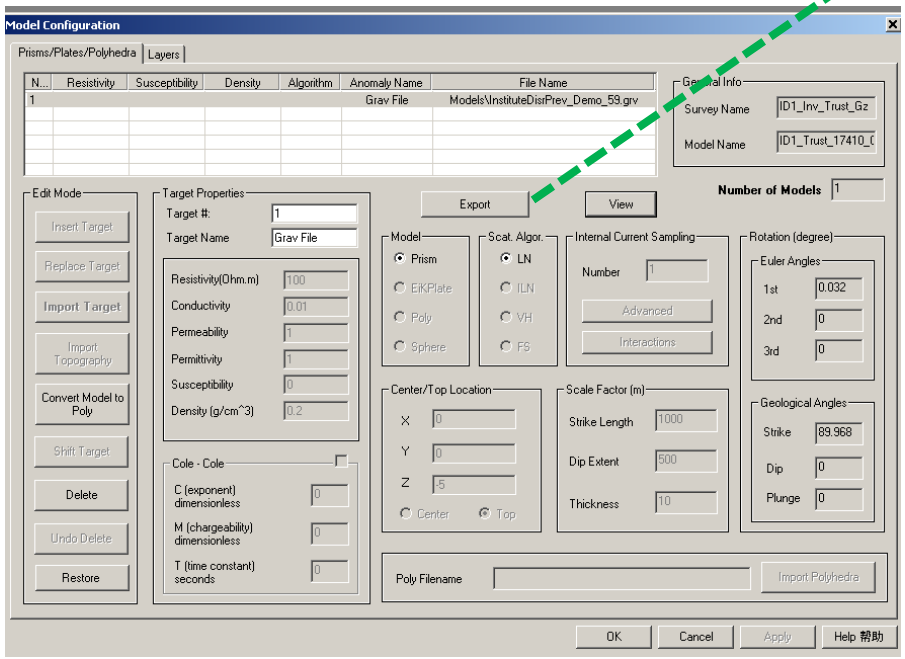
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演评估/处理 导出功能

当用户选择反演结果并且打开 “Model” 时，会看到提供的 “Export” 选项。







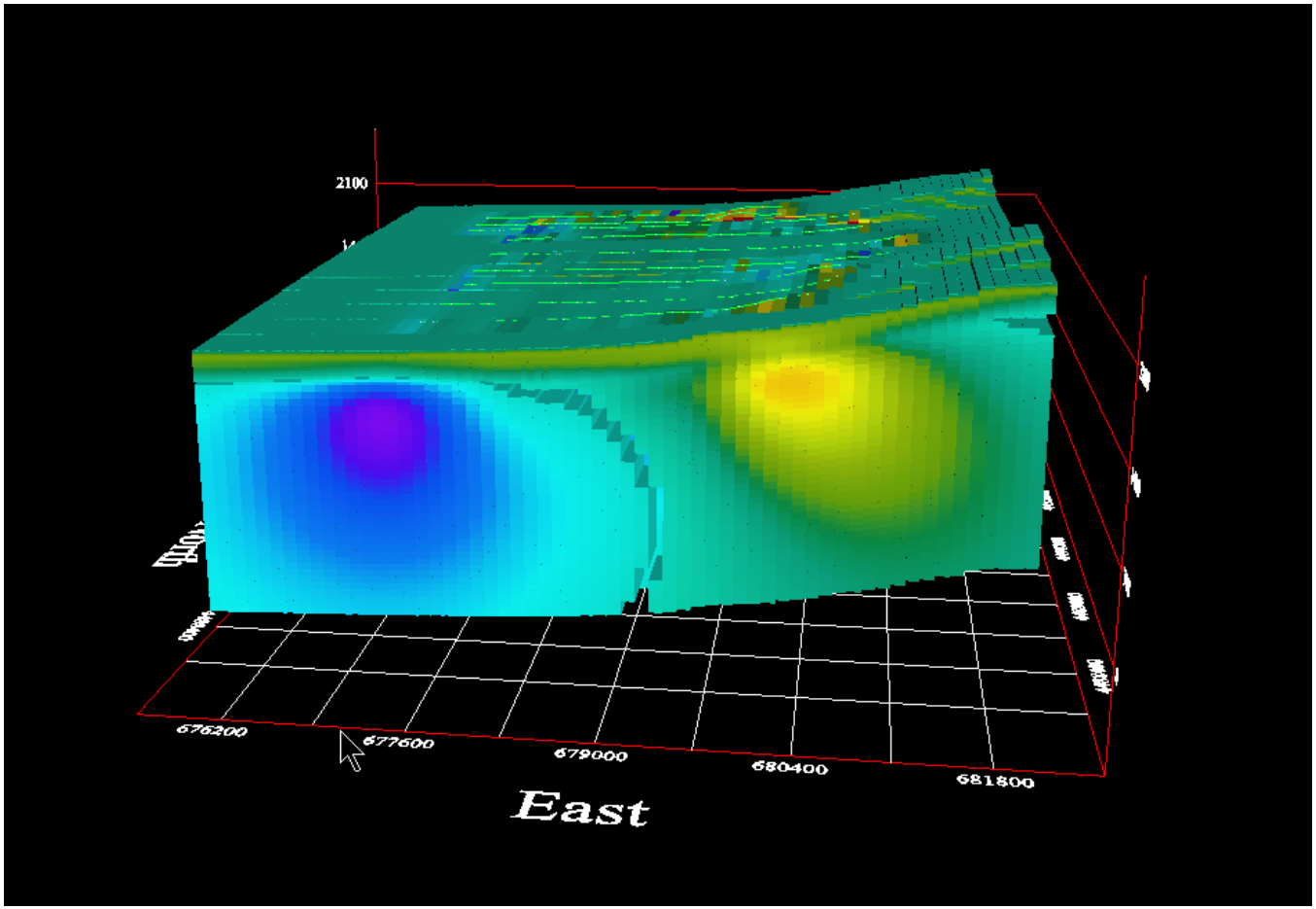
导出选项：第一个导出选项允许从反演模型中提取深度切片或横截面。第二个选项是导出整个反演网格。这些功能可以在原始反演网格或生成的任何已处理网格上执行。

横截面将导出到新的数据集中，以便在我们的“截面查看器”中查看，并且可以从该应用程序导出为标准格式。用户可以控制深度切片（数量、深度增量等），输出为 .qct 文件。如果需要，可以从该.qct文件导出为 ASCII 文件。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演可视化

点击 Viz 钮打开 Visualizer 工具来查看反演的 3D 模型...



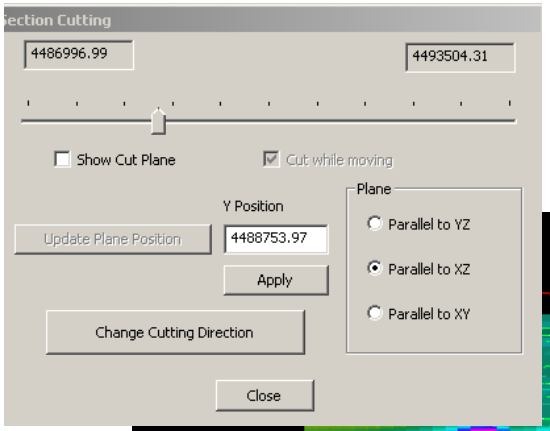
您可以将 3D 图像导出为 3D .pdf 文件。菜单“文件（File）”►“保存图像（ Save Image ）”

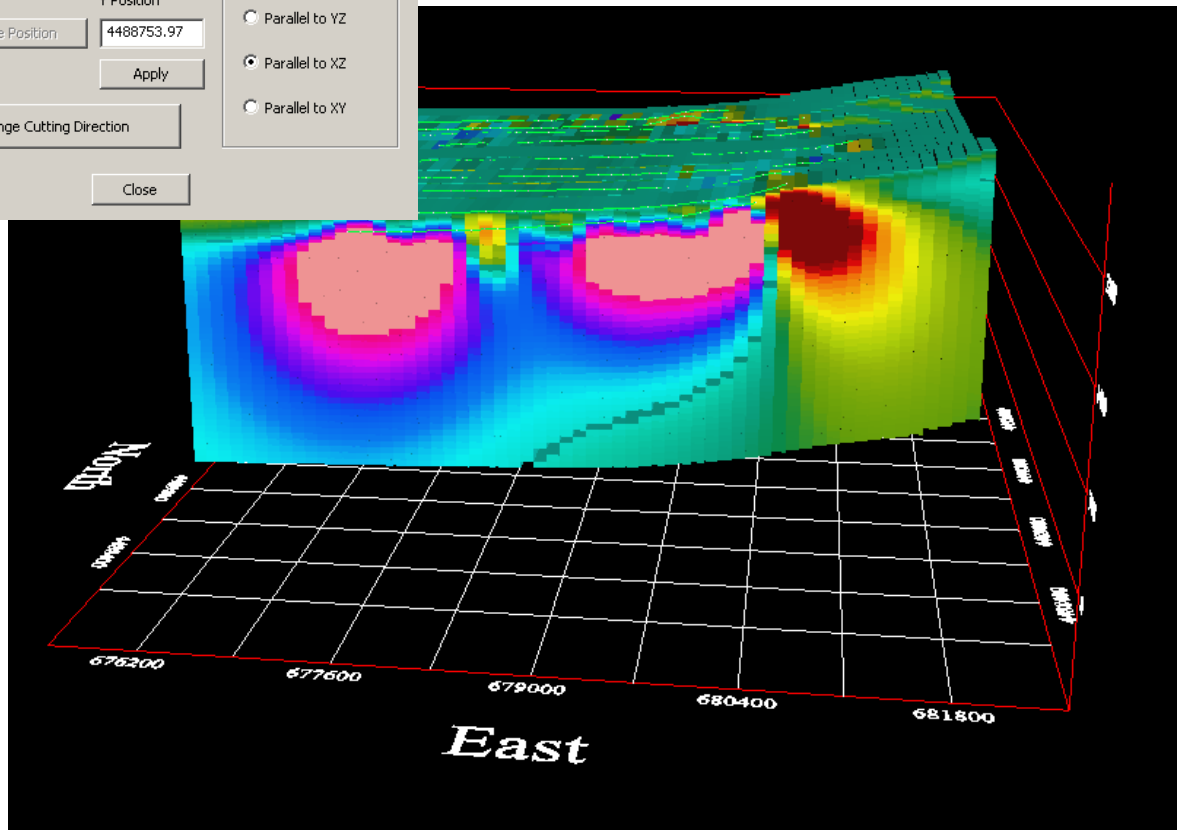
可视化场景上方的工具栏提供了各种控件。有一个关于如何使用可视化工具查看和构建模型的教程。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

可视化

从顶部菜单中选择“模型（Model）►3D反演模型（ 3D Inversion Model ） ►模型切割（ Model Cutting ）”
打开截面切割（*Section Cutting*）工具





通过调整控制栏...

查看 **3D** 模型在***XY***、***XZ*** *和* ***YZ*** *平面*的各个部分

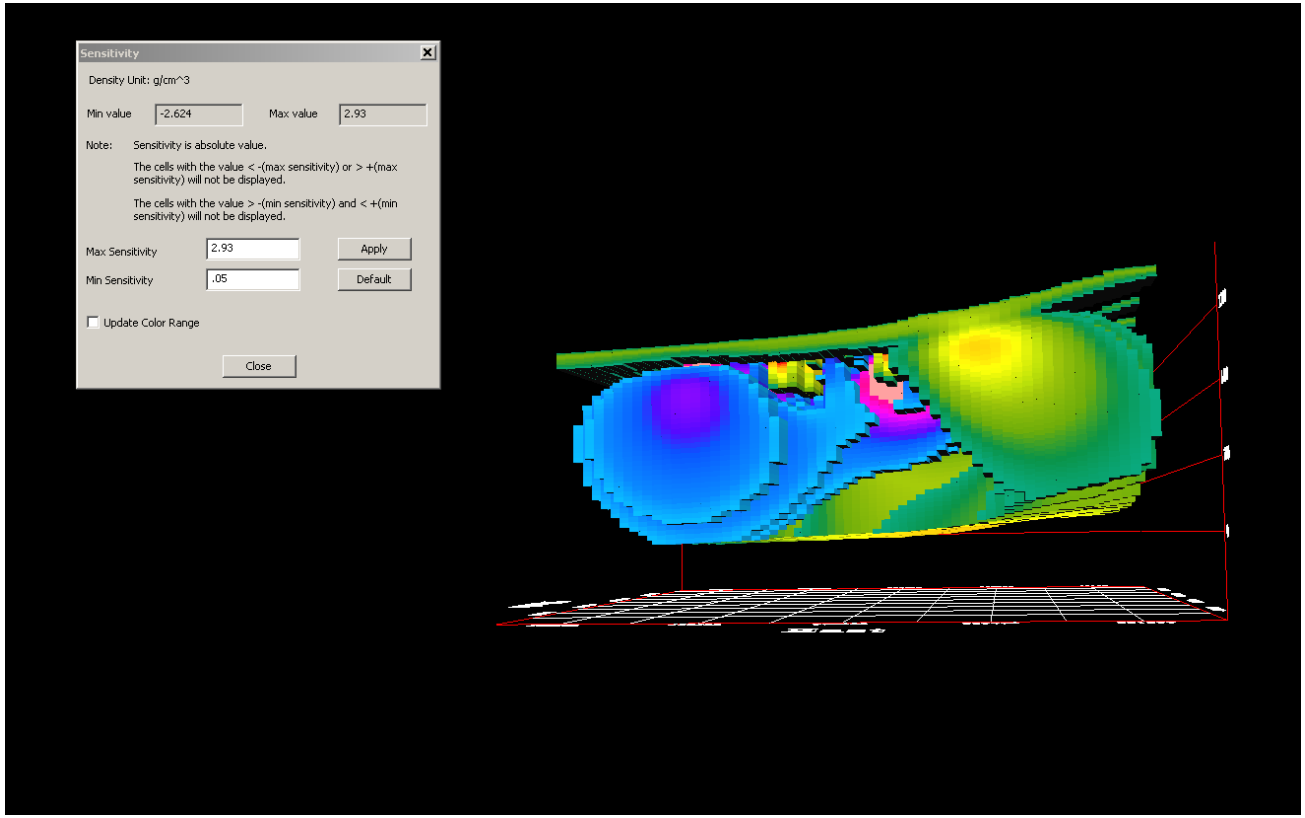
所示示例为北部 ***4488754*** *米处的切片*

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

可视化

从顶部菜单中选择“模型（ Model ）►3D反演模型（ 3D Inversion Model ）►灵敏度（ Sensitivity ）”打开灵敏度选择（*Sensitivity Selection*）工具。

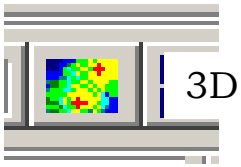
该图中的模型仅包含具有指定范围内值的单元格



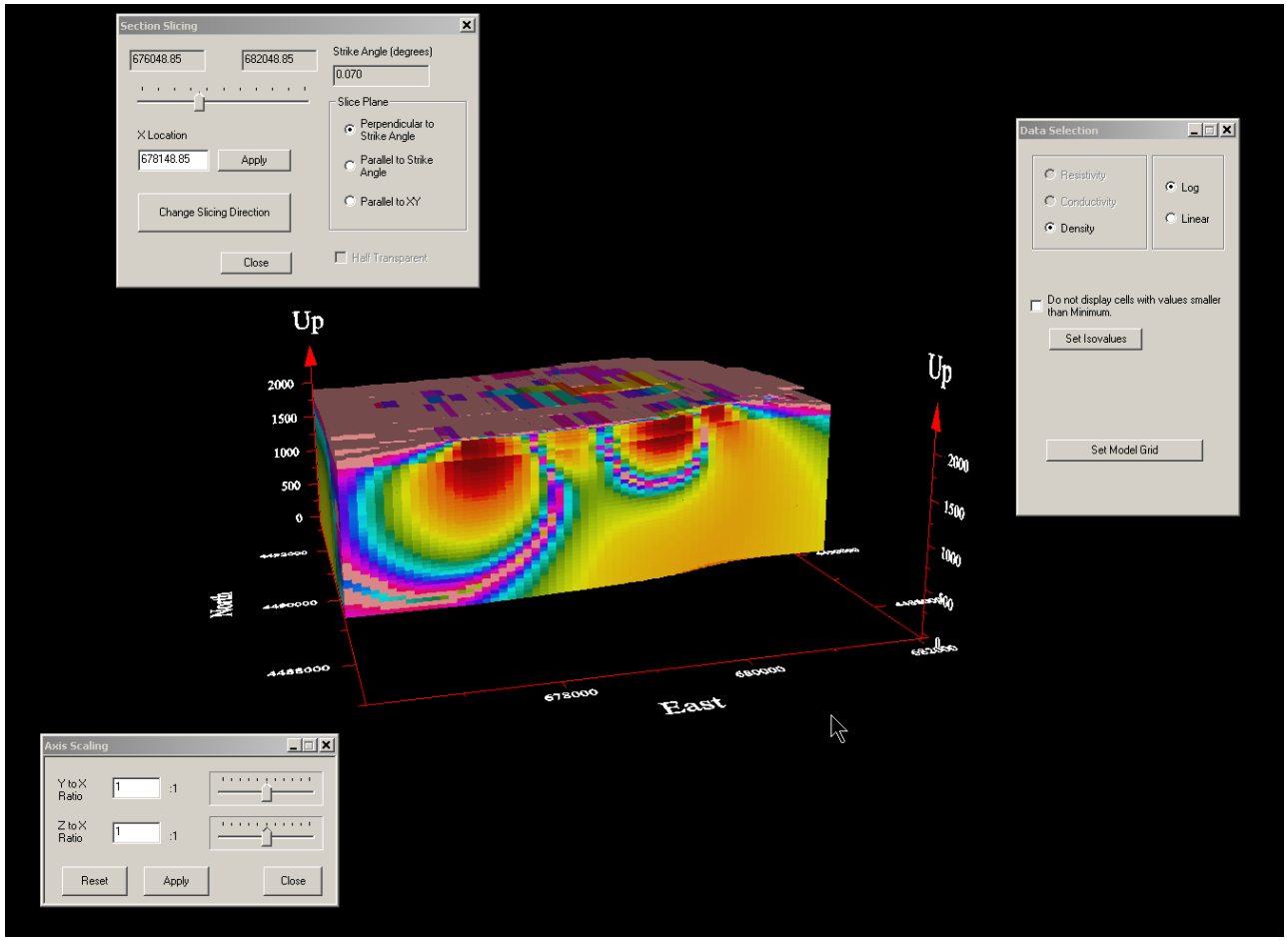
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

可视化

另一个可视化工具，将反演网格插入到更精细的网格单元中，并允许其它可视化功能。



3D Contour

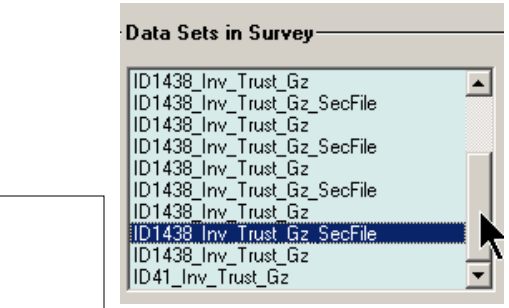


1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

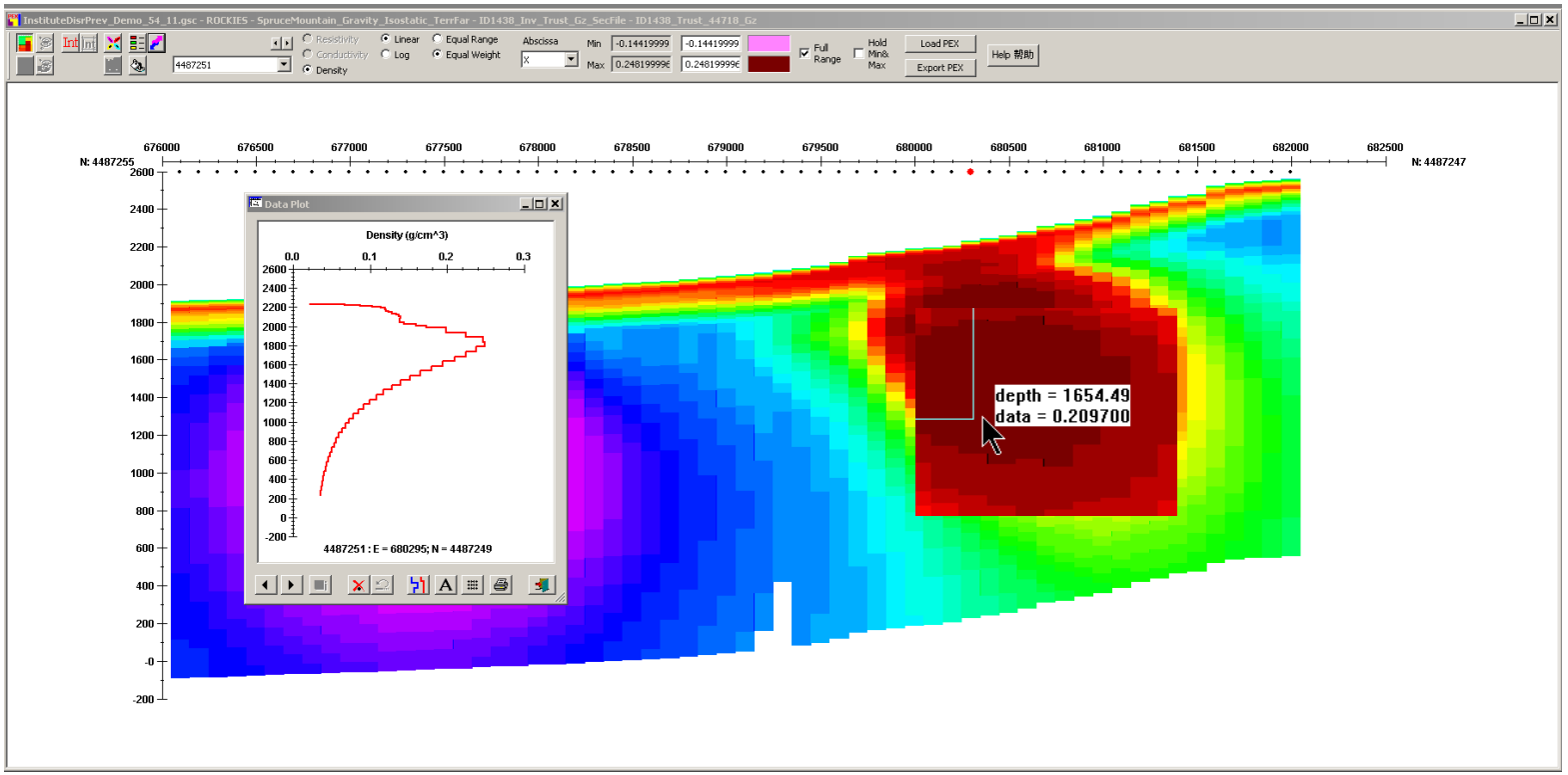
可视化

横截面：通过“Model”按钮，您可以导出横截面。此功能将生成另一个包含模型密度切片 (*.gsc) 的数据集。这些文件可以在工具栏上 PEX 按钮指向的查看器中查看。

CDI VIEWER



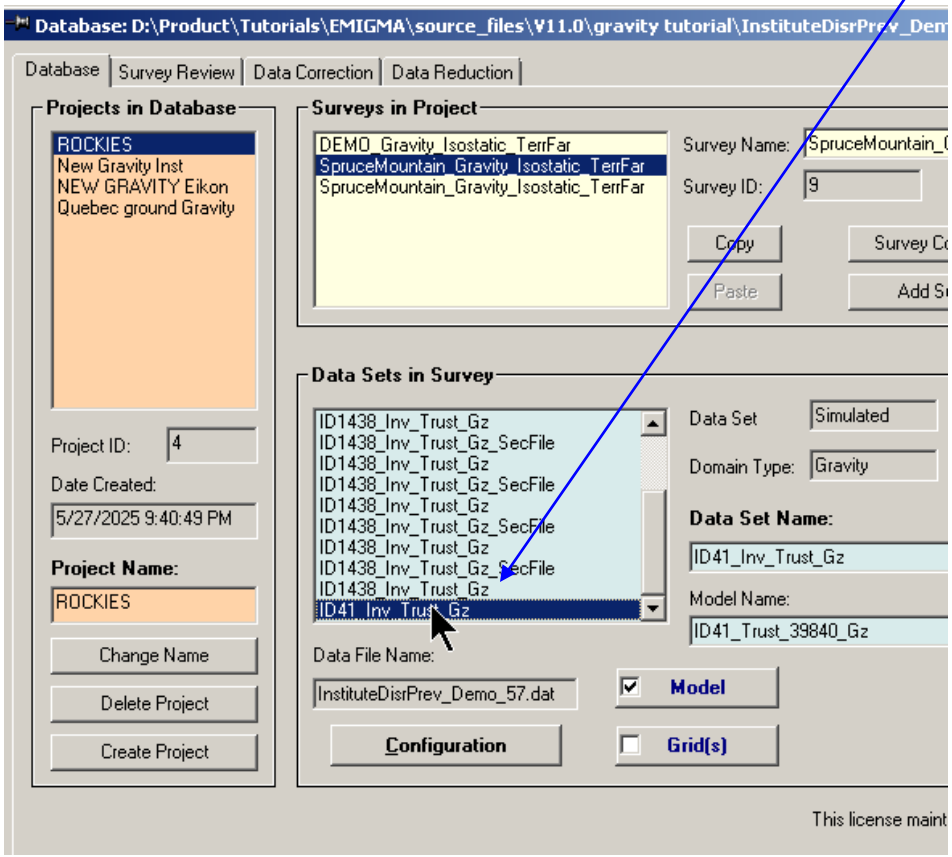
-横坐标值显示在顶部。横坐标可以更改。
-深度显示在左侧轴上。双击横轴或纵轴可更改设置。
-垂直于横轴的坐标值显示在剖面起始处的左侧，以及剖面终止处的右侧。
-反演数据最初显示时未绘制等值线。点击某个单元可查看该单元的深度和参数值。
-工具栏左下方的方框显示的是垂直于横坐标的坐标中心点的值。
-使用左右箭头在剖面之间移动。
-小型数据折线图窗口显示的是所选点的参数值与深度的关系。工具位于底部。

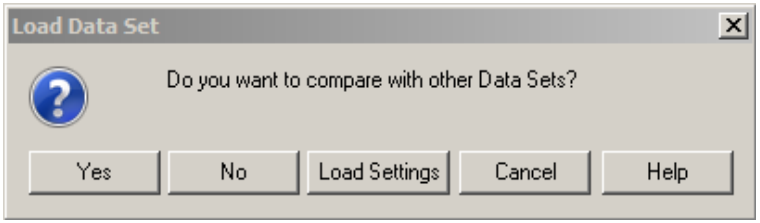


1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. **反演评估/处理**
6. 可视化
7. 导出模型

反演评估

为了评估反演模型在每个测点数据的拟合程度，请选择反演数据集，然后选择折线图仪（Plotter）。



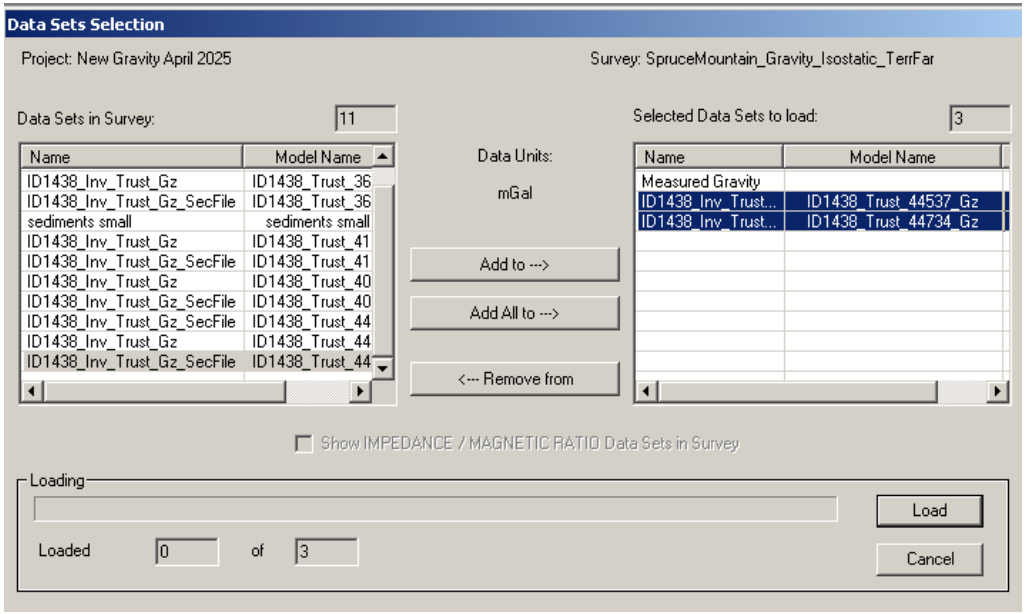


如果出现此对话框，请选择“是”，然后选择所有要用于比较的数据集。

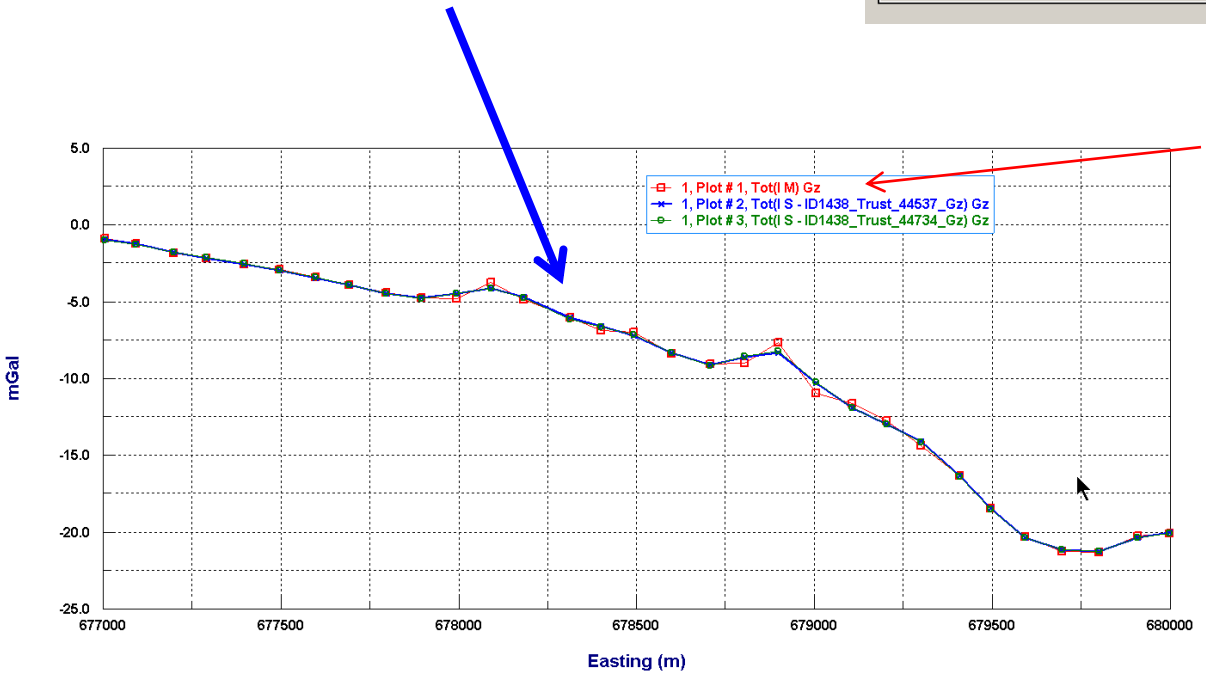
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演评估

选择需要比较的数据集，然后点击“加载（Load）”。



所有选定的数据集将加载到折线图仪应用程序中，并显示第一条测线的模拟数据。使用左右箭头在测线之间移动或双击绘图。

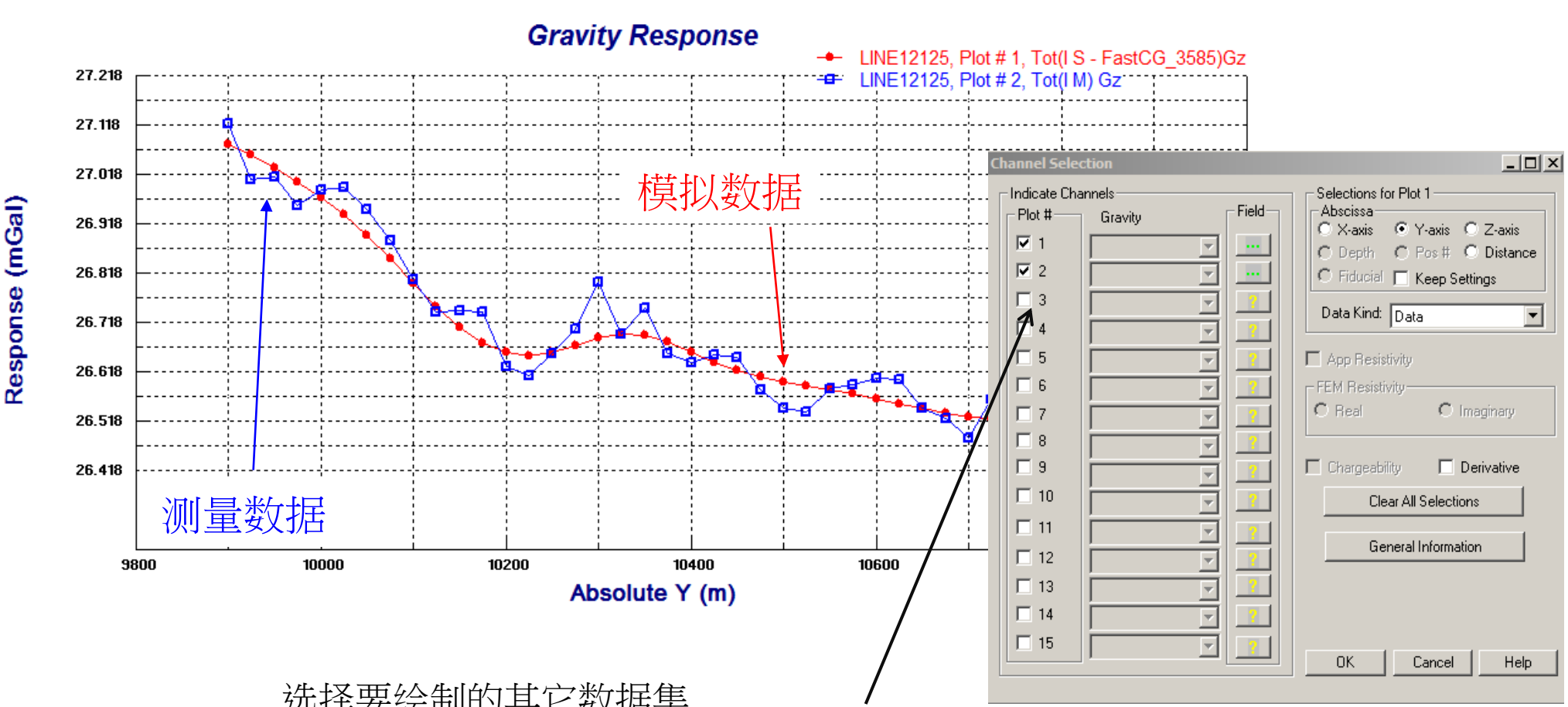


测量数据

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演评估

用户只需双击图表或更改图表中的参数即可选择要绘制的其它数据集。

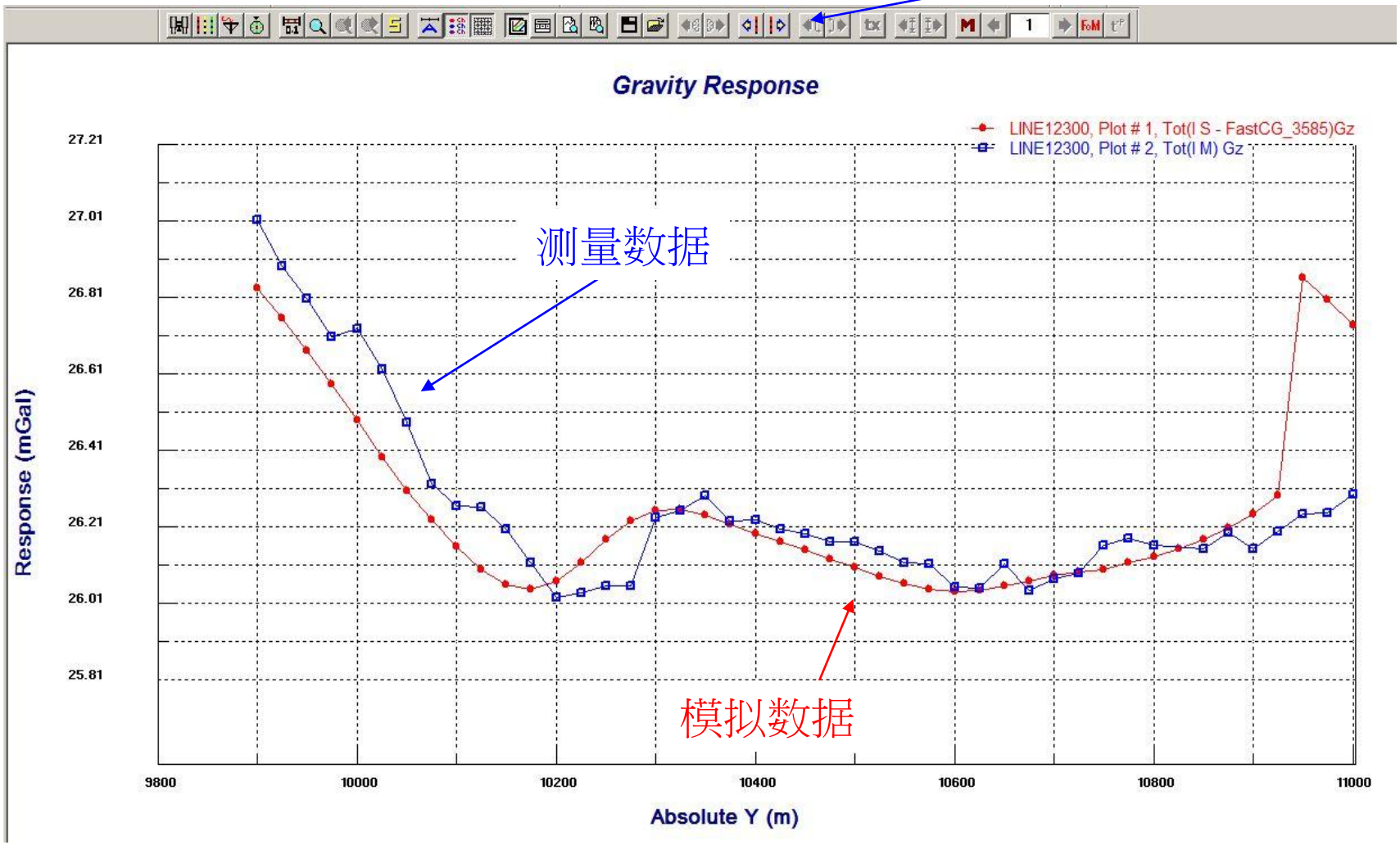


选择要绘制的其它数据集

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

反演 评估

可以显示同一数据库中不同反演结果和模型的多个图。用户只需点击箭头即可浏览不同测线的图，并使用**M**右侧的箭头浏览不同模型的图。

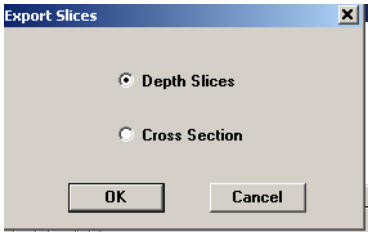


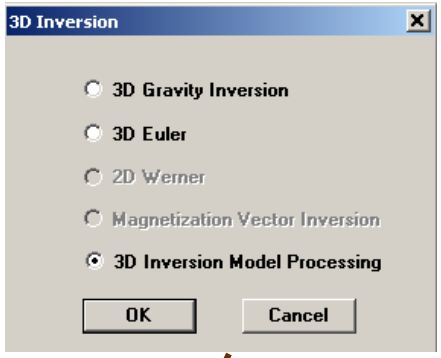
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

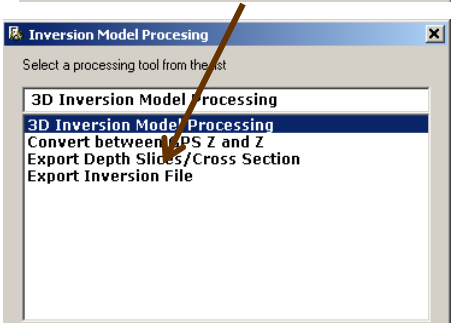
导出模型

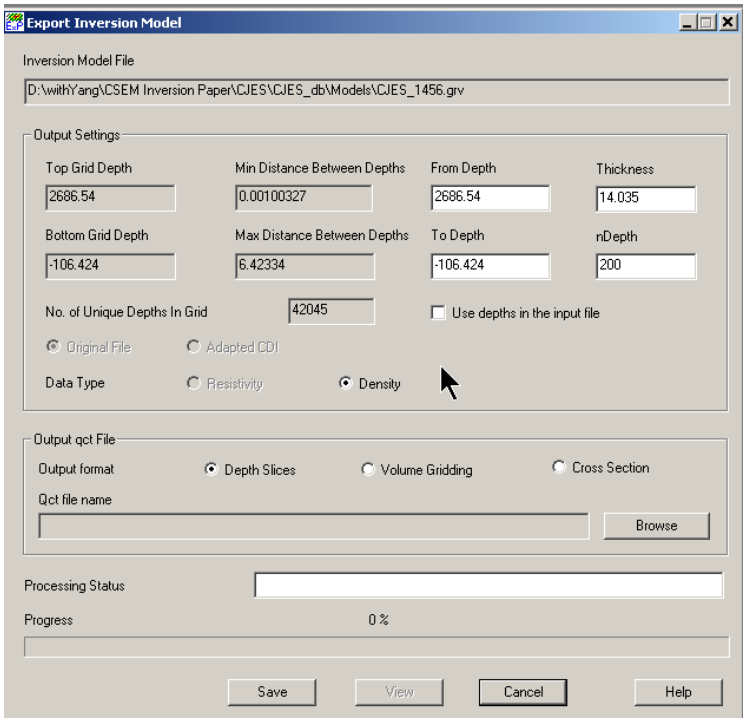
导出选项：

导出深度切片/横截面









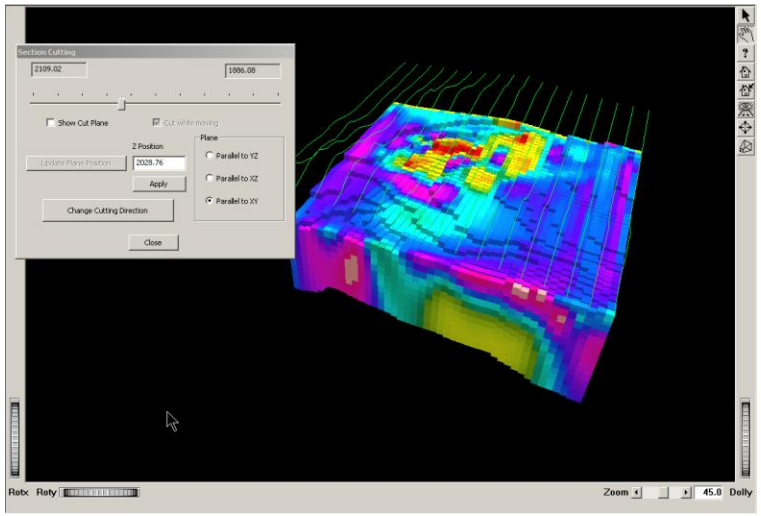
深度切片； 此工具提供网格中一系列深度的密度切片。默认设置是在切片之前创建插值体积。用户指定顶部深度平面和底部深度平面，以及每个深度平面之间厚度的深度数量。浏览并指定要导出的文件夹和 QCTOOL 文件名。深度切片可在 QCTOOL 中轻松绘制等值线图，或导出并导入到其它应用程序。

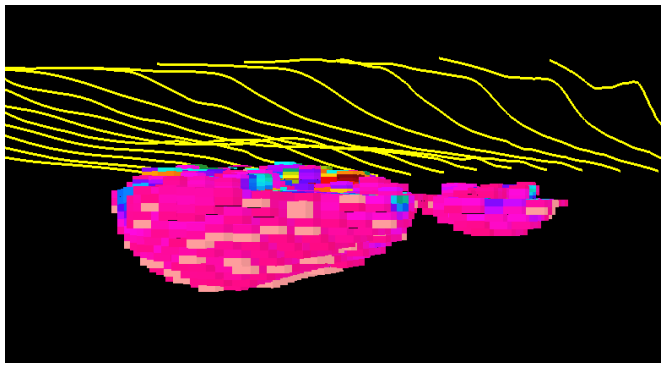
横截面；上文我们已经了解了如何将横截面导出到另一个数据集，以便使用 EMIGMA 的截面查看器。但是，您也可以直接将横截面导出到 QCTOOL 文件，以便导出到其它程序。

1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

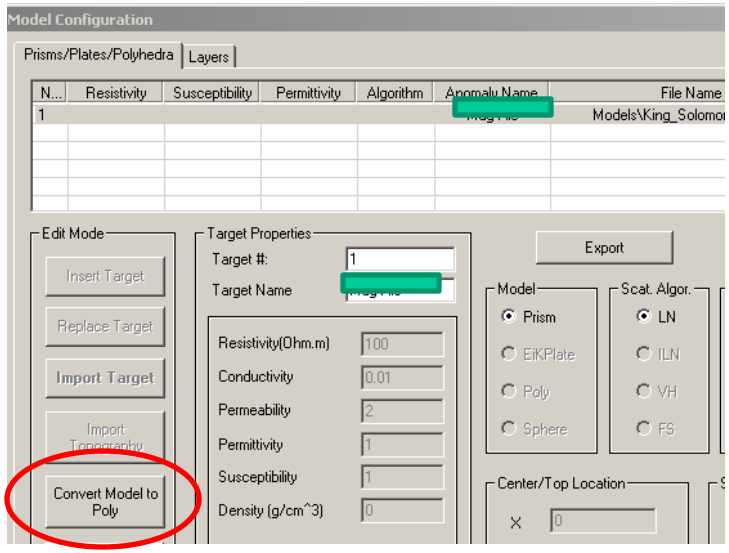
将反演模型导出为 CAD 格式

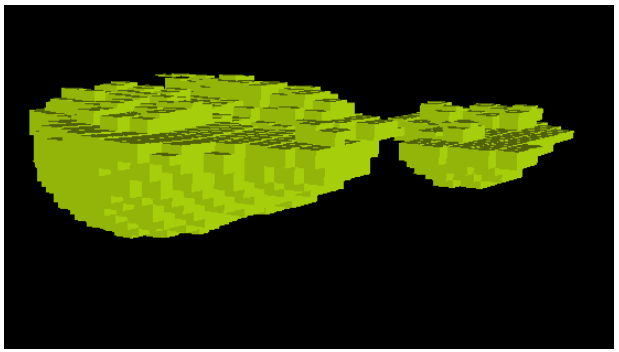
反演模型网格可以导入 CAD 应用程序，但当将反演集成到更大的 CAD 项目中时，通常需要更紧凑的形式。常规操作是对反演模型进行简化，聚焦于反演模型中最有趣的结构。下方左侧的示例是按深度切片的反演模型视图。可以在模型的左上角看到有趣的结构。下图显示了去除了反演密度值小的单元的反演模型。





第一步是将简化模型网格转换为多面体模型。再次选择“Model”，打开“模型配置”对话框（左下角）。用户在顶部选择反演网格，然后在对话框左侧选择“将模型转换为多边形（ Convert Model to Poly ）”。此多边形模型的视图在可视化工具中如下图所示。多面体文件存储在数据库结构的“Polyhedron”子目录中。



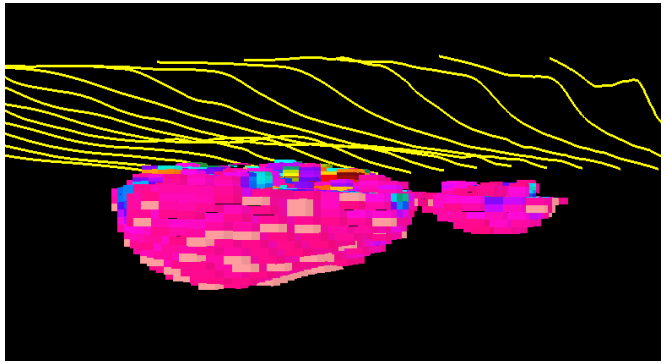


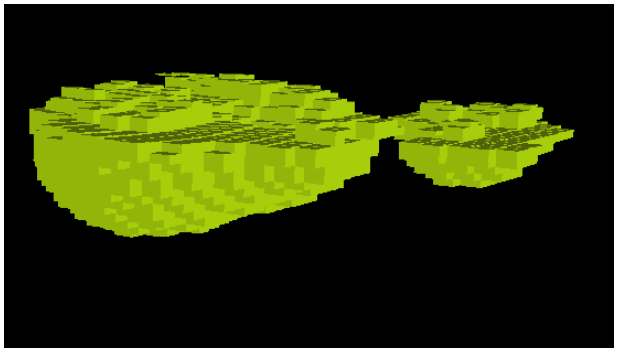
1. 导入数据
2. 检查数据
3. 执行初始建模
4. 执行 3D 重力反演
5. 反演评估/处理
6. 可视化
7. 导出模型

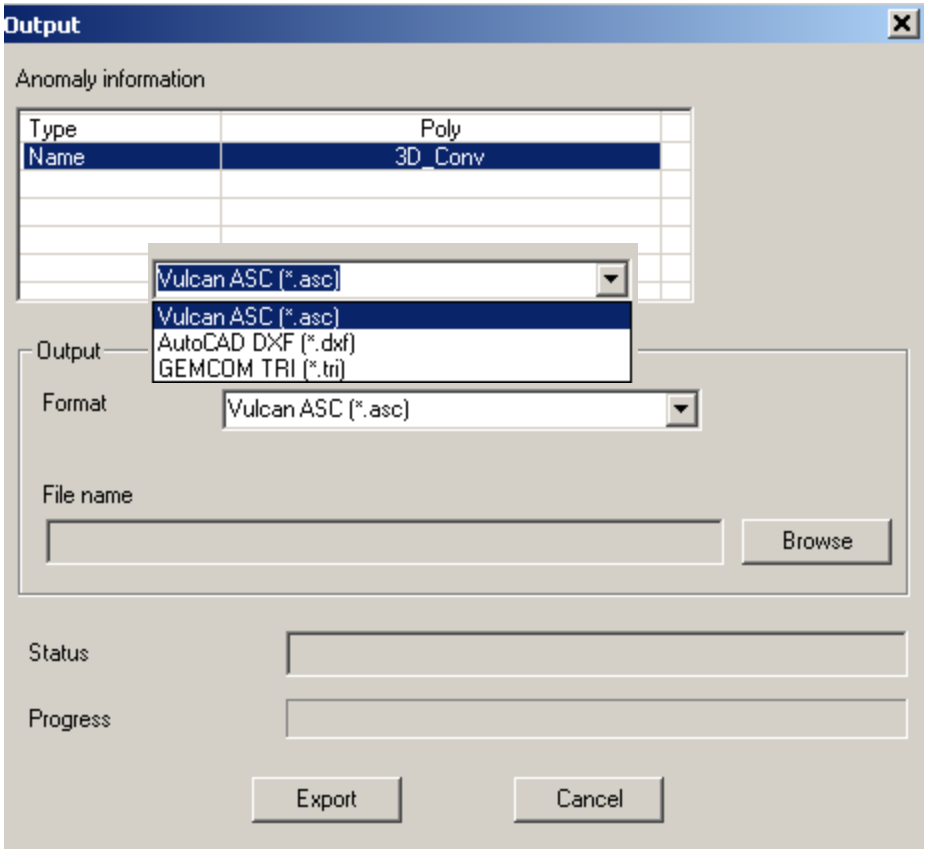
将反演模型导出为 CAD 格式

EMIGMA 中的所有模型基元（包括多面体模型）都可以导出为多种 CAD 格式。由于此模型是多面体格式，因此可以导出。

模型（Model）► 导出（Export）►







浏览（Browse）► 选择目录并保存文件以导入 CAD。
大多数 CAD 应用程序都支持这三种格式。

EIKON TECHNOLOGIES