Visual MODFLOW Pro 4.0 指南

这个说明书包含一步步的使用指南，指导你运用 Waterloo Hydrogeologic 的 Visual MODFLOW Pro 4.0 Demo 版本的整个过程。这个指南将指引你按以下所要求的步骤去做：

（1）建立网格模型，然后给定其特征值以及边界条件；

（2）使用 Visual MODFLOW 来模拟地下水的流动，水质点的示踪，以及物质的运移模拟；

（3）可以用二维和三维的可视化图形显示结果；

为了方便起见，Visual MODFLOW Demo 安装程序自带安装一组完整的数据输入文件，以及你将要建立的模型示例的模拟结果。这个使用指南独立清晰地显示每个步骤，这可以让你在调试过程中就能选择感兴趣的方面，而不用完成整个练习。

目录

对示例模型的描述.....1
如何使用本指南.....2
一、术语和符号.....2
二、点击开始.....2
模块Ⅰ：创建并定义一个流动模型.....3
第一部分：建立新模型.....3
第二部分：网格加密.....8
第三部分：添加抽水井.....17
第四部分：赋水流模型属性.....18
第五部分：给定水流边界条件.....23
第六部分：质点示踪.....29
模块 II：溶质运移模型.....30
第七部分：建立运移模型.....30
第八部分：溶质运移特性.....32
第九部分：运移边界条件.....33
第十部分：添加观测井.....34
模块 III: Visual MODFLOW 的运行.....37
第十一部分：MODFLOW 的运行选项.....37
第十二部分：MT3DMS 的运行选项.....38
第十三部分：模型的运行.....40
模块 IV：输出可视化.....42
第十四部分：等水位线.....42
第十五部分：速度矢量.....46
第十六部分：迹线.....48
第十七部分：浓度等值线.....50
第十八部分：浓度—时间图.....60

对示例模型的描述

该地区位于 Waterloo 河外的飞机场附近。该地区表层的地质条件是由上、下两层沙土以及砾石组成的含水层，中间以粘土和泥沙作为隔水层组成的。相关的地貌特征包括一个飞机加油站，一个市内的供水井区域，以及一个不连续的隔水层。如图 1 所示。

这个供水区有两口供水井。东面的井以 550m^3/d 的定流量抽水，而西部的井以 400m^3/d 的定流量抽水。在过去的十年里，飞机燃料已经周期性地泄露到加油站区，而且经过自然渗透导致一部分污染物进入到上层含水层。这个指南将会指导你建立该地区的地下水流动和溶质运移模型的必要步骤。这个模型还会显示燃料污染物对市内供水井的潜在影响。

当研究该地区时，从平面图上看，指定该区的上部为北面，下部为南，左面为西，右面为东。地下水在这个三层的含水层系统中是从**北向南流动**（从上到下）。该含水层系统是由顶层潜水含水层、中间一个弱透水层以及底部的承压含水层组成的，如图 2 所示。上下含水层的渗透系数为 2e-4m/sec，而弱透水层的渗透系数为 1e-10m/sec。

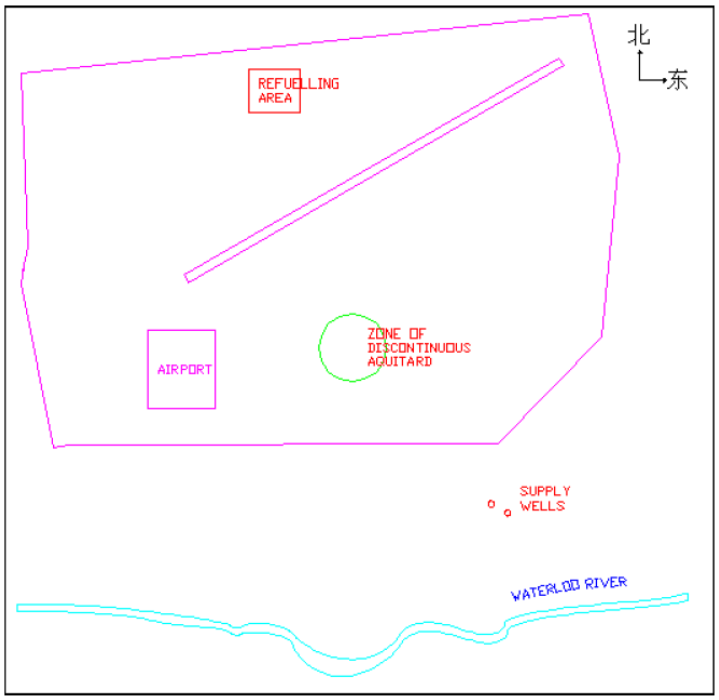


图 1

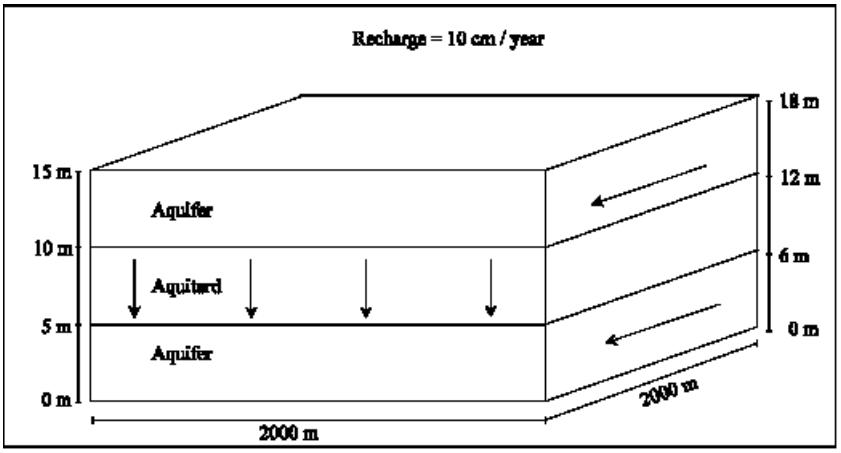


图 2

如何使用本指南

这个指南分为四个模块，每个模块都包含一系列组成部分。设计这个指南是为了让使用者可以从任何一个模块开始，这样就能选用 Visual MODFLOW 的某些特定模块。每个组成部分都以简洁明了的形式显示。这些模块如下设置：
模块Ⅰ：创建并定义一个流动模型（第一至第五章）；
模块Ⅱ：溶质运移模型（第六至第九章）；
模块Ⅲ：运行 Visual MODFLOW（第十至第十一）；
模块Ⅳ：可视化输出；

一、术语和符号

为使用方便，会用到以下一些术语和符号：

Type： 输入给定的词或数据；

Select： 在指示的地方单击鼠标左键；

⇔ **：** 按**<Tab>**键；

⏎ **：** 按**<Enter>**键；

[…]：表示此键可以点击，这个键会出现在一个窗口中，或者是在菜单栏的旁边或底部；

加粗的文字表示可以点击的菜单或窗口界面，或者是可输入文字。

二、点击开始

双击桌面上的 Visual MODFLOW 程序图标开始。

模块Ⅰ：创建并定义一个流动模型

第一部分：建立新模型

这第一个模块将会指导你运用 Visual MODFLOW 界面创建一套新的模型数据所必要的步骤。

创建新模型：在主菜单栏中单击 **File**（文件），再单击 **New**（新建），就会弹出一个 **Create new model**（创建新模型）的窗口（图 3）。为方便起见，系统按已经建立了模型。按照默认设置这个模型位于 **C:\VMODNT\Tutorial**

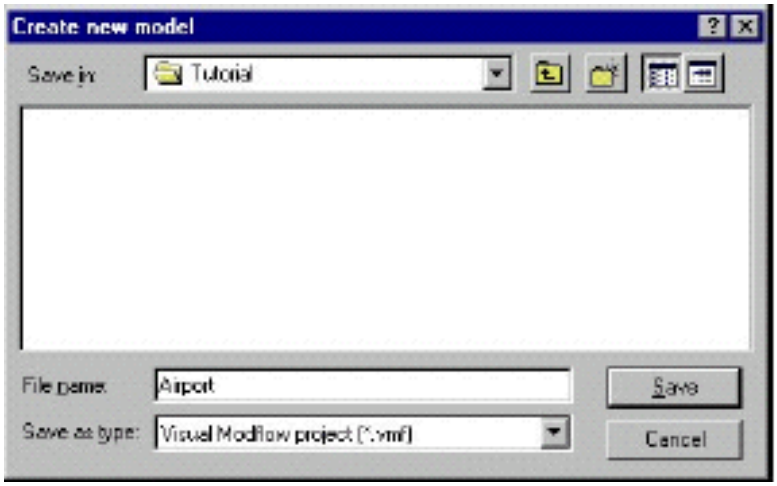


图 3

建议使用者建立一个新的文件夹，把新模型保存在此新建文件夹中。

建立新文件夹：单击窗口中的新建文件夹图标，
输入新文件夹名称，再双击此文件夹，在文件名称栏中输入 Airport，点击保存。

注意：1、文件夹或者文件名称必须用英文字母或数字，不能出现中文。

2、如果你选择了缺省值的目录途径（C:\VMODNT\Tutorial），并输入相同的 Airport，就会弹出一个警告对话框，提示已经存在一个 Airport.vmf 的文件。

单击[NO]会把你新建的模型存入另外文件夹中（图 4）；

单击[YES]会覆盖已经存在的模型。



Visual MODFLOW 会在文件名末尾自动添加.vm[illegible]的步骤描述模型建立过程（图 5）：

- 地下水流动和运移模拟所需的 Numeric Engine（数值引擎）；
- 与各种流动和运移参数相关的 Units（单位）；
- 模型的 Start Date（初始日期）和 Start Time（初始时间）

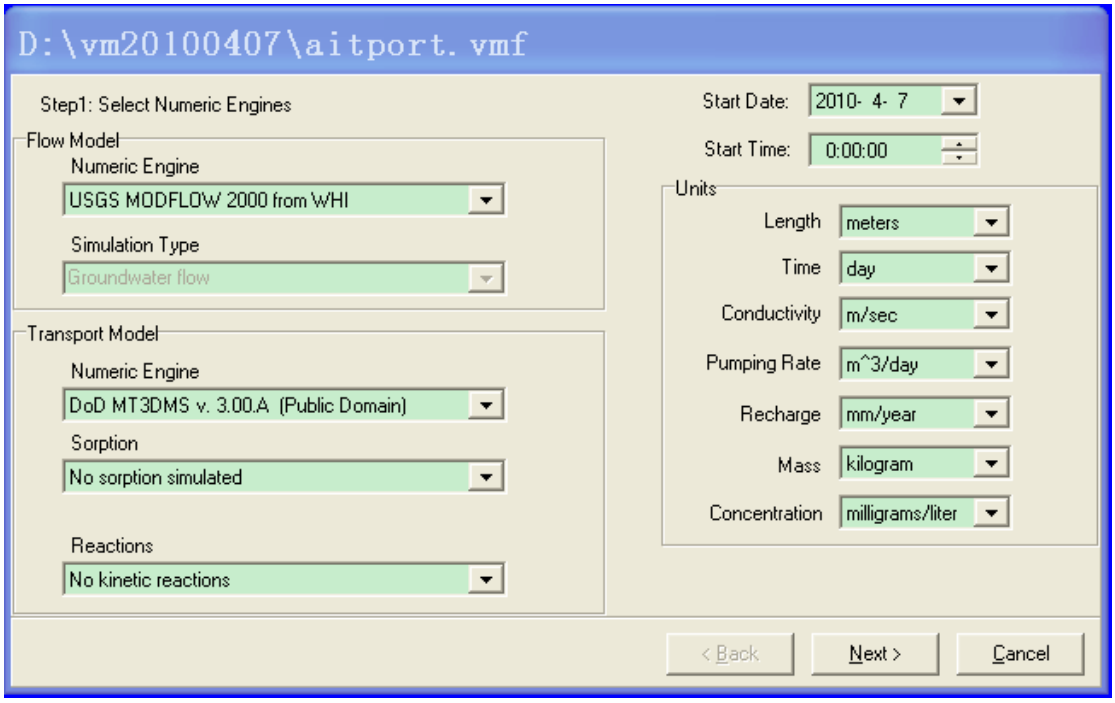


图 5

对于流动模型，可以用到以下的 Numeric Engine（数值引擎）：

- WHI 的 USGS MODFLOW-96
- WHI 的 USGS MODFLOW-2000
- HGL 的 MODFLOW-SURFACT

在这个示例中，选用 MODFLOW-2000

注意：在目前的 Visual MODFLOW 版本中，不支持 MODFLOW-SURFACT 的运移选项。因此，如果在水流模型中选择了 MODFLOW-SURFACT，运移选项的数字引擎就会自动不可用了。

对于运移模型，用到了以下一些 Numeric Engine（数值引擎）：

- MT3DMS
- MT3Dv150
- MT3D96
- MT3D99
- MT3Dv1.0
- MT3Dv2.5

在这个示例中，选用了 MT3DMS。

基于所选的运移引擎，你还要选择可用的 Sorption（吸附）方法和 Reaction（反应）。在这个示例中，不考虑吸附，也没有选择反应项。

在 Units（单位）栏中，为每个模型的输入数据类型选择以下的信息内容：

Length： meters
Time: day
Conductivity: m/sec
Pumping Rate: m^3/day
Recharge: mm/year
Mass: kilogram

Concentration: milligrams/liter

这个模型的 Start Date（初始日期）和 Start Time（初始时间）与初始模拟时间相对应。当前，这些数据只和非稳定流模拟有关。在非稳定流模拟中，所记录的数据可以被导入用来为选定的边界条件（如定水头、河流、总水头和排放量）设定时间进度表。

再点击[NEXT]（下一步）确定这些给定值。

在第二步中，会出现下面的窗口（图 6），显示地下水流动和运移模型的默认值：

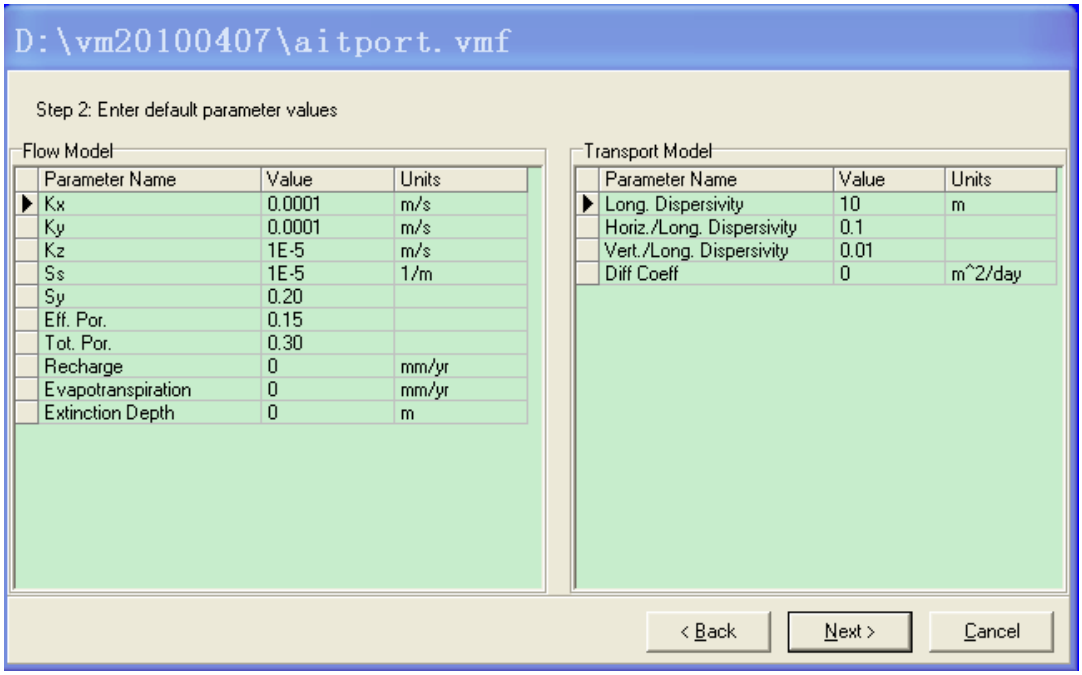


图 6

再点击[NEXT]（下一步）确定这些给定值。

第三步是 Create the model Grid (建立网格模型)见图 7：

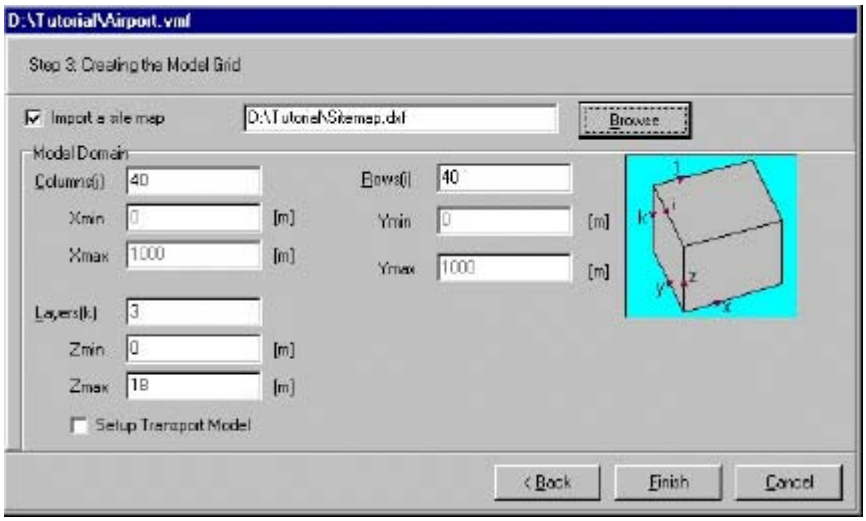


图 7

以上的界面用来 Import a site map（添加地图），指定 Model Domain（模型版图）的维数，并且确定有限差分网格的行数、列数以及层数。为模型中的行数、列数以及层数分别输入以下数据：

Columns (j):	40	列数：	40
Rows (i):	40	行数：	40
Layers (k):	3	层数：	3
Zmin:	0	Z 方向最小值：	0
Zmax:	18	Z 方向最大值：	18

选择 ☑Import a site map（添加地图）

下一步，必须要选择文件扩展名为 .DXF 的背景地图。
点击[Browse]（浏览），返回到 Tutorial 目录选择以下文件：

单击 ☑Sitemap.dxf

单击[open]
单击[Finish]确定这些设定。
这时会弹出一个 Select Model Region（选择模型区域）的窗口，提示你定义模型区域的范围。Visual MODFLOW 会从底图（Sitemap.dxf）中读取最大最小坐标值，并显示其在模型中心的默认位置坐标（图 8）。
同样的方法，点击 F4 可以将 bmp 等格式的图片作为底图带入到模型中。

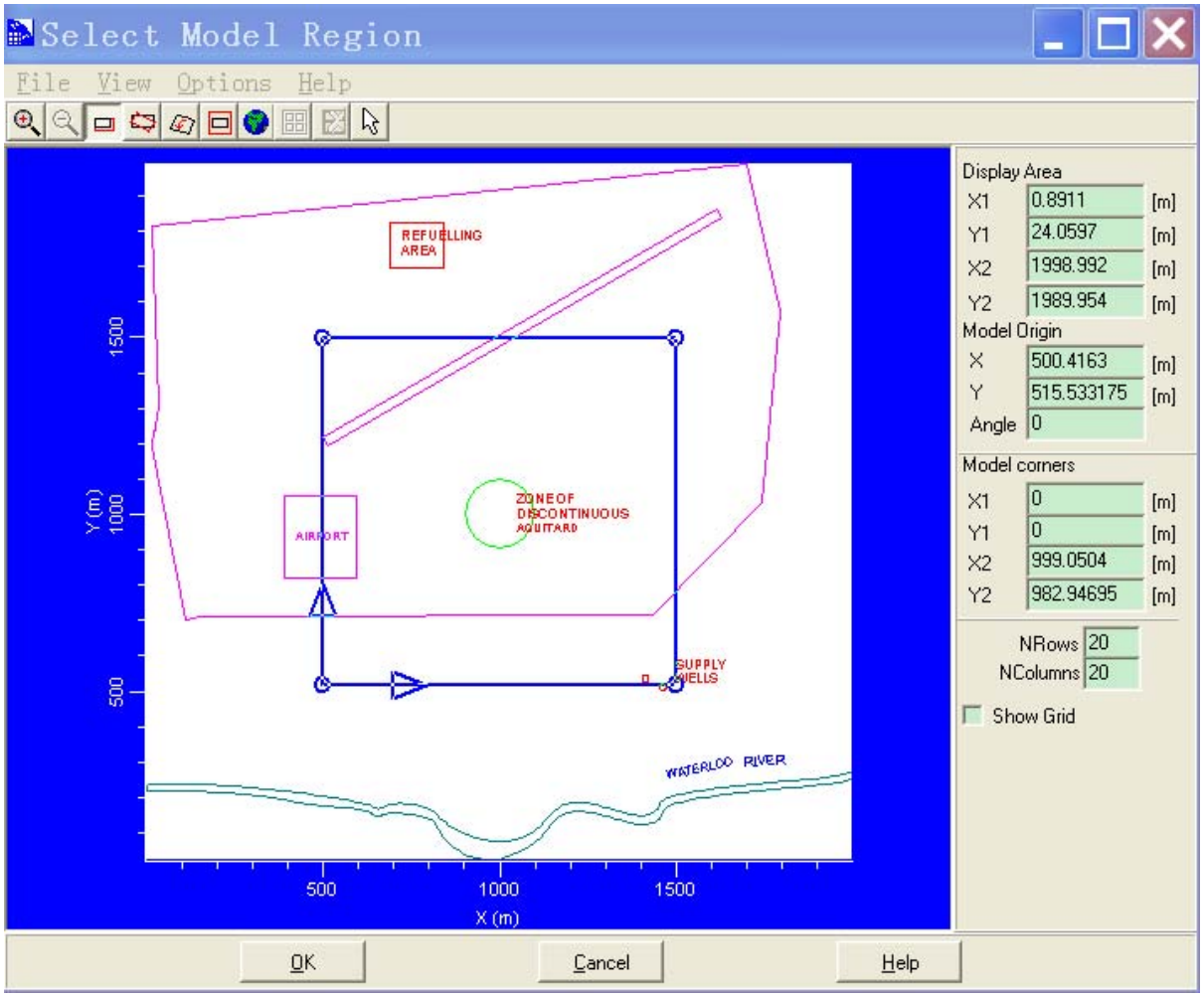


图 8

在屏幕显示数据的地方重新输入以下数据：

Display area： X1： 0 ⟺
（显示范围） Y1： 0 ⟺
X2： 2000 ⟺
Y2： 2000 ⟺
Model Origin： X： 0 ⟺
（初始模型） Y： 0 ⟺
Angel（角度）：0 ⟺
Model Corners： X1： 0 ⟺
（模型顶角） YI： 0 ⟺
X2： 2000 ⟺
Y2： 2000 ↵

单击[OK]确定。

此时会出现一个 File attributes 的窗口，显示“Sitemap.dxf”已经被保存到 Visual MODFLOW 工程里，并且命名为“Airport.Sitemap.MAP” （图 9）。

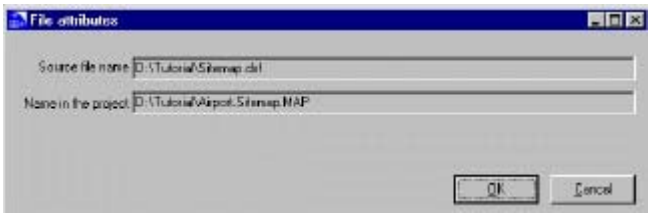


图 9

单击[OK]

就会打开 Input（输入）菜单，而且在模型范围内会自动生成一个固定规格的 40×40×3 的有限差分网格。屏幕上还会出现地图的网格形式，如图 10 所示：

当第一次进入 Input（输入）时，网格图自动装载。

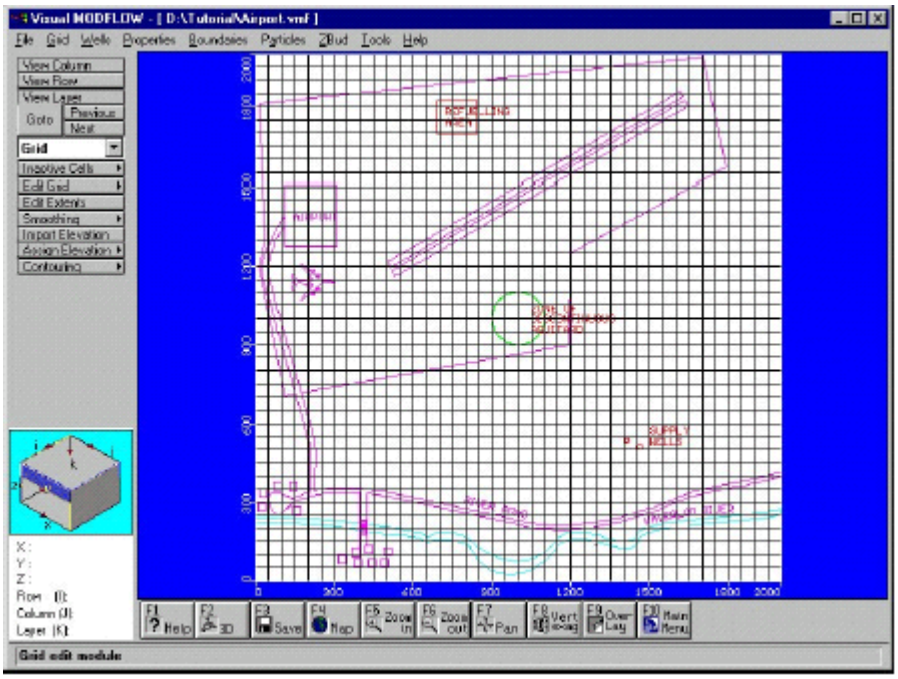


图 10

第二部分：网格加密

网格界面为加密模型网格、勾画无效网格单元、输入各层标高、指定标高、优化（光滑）网格以及画各层标高等值线提供了一套完整的绘图工具。

这个部分描述了对所选地区进行网格加密的必要步骤，例如在供水井周围地区。进行网格加密的原因是为了得到所选地区更详细的模拟结果，（如在水力梯度可能变化大的地区）。例如：如果在井周围出现水位下降，当使用了加密的网格后，水位会相对较平缓。

修改 X 方向的网格：单击**[Edit Grid] Edit Columns**（编辑列）

就会弹出一个 **Columns**（列）的窗口（图 11），显示要编辑的网格列的选项。**Add**（添加）选项自动被选中，同时通过在需要增加网格线的地方单击鼠标左键，就会增加一条新的线。把鼠标移到网格中任意地方，注意到有一条突出的垂线会随着鼠标在网格中移动。这条线可以被用来在模型范围内任何地方增加一列。在这次的练习中，需要修改加油站区以及供水井附近的网格。

在网格的任意位置点击鼠标**右键**，就会弹出一个 **Add Vertical Line**（增加垂线）的窗口（图 11），选择⊙**Evenly spaced gridlines from:**

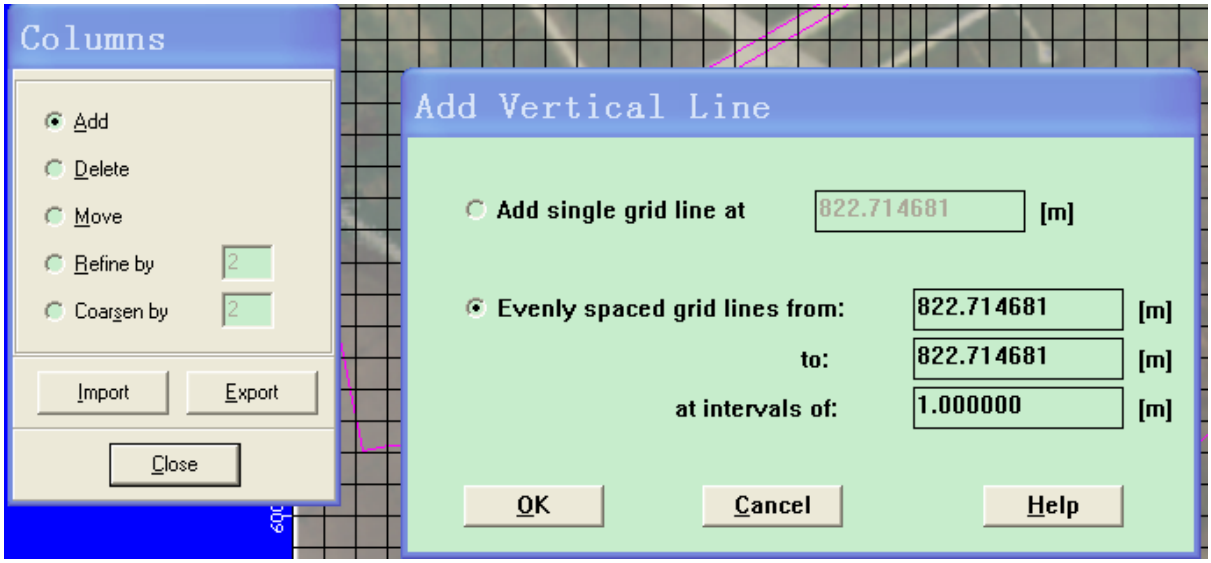


图 11

在调整文本框中点击，并输入以下数据：

from: 500
to : 1600 ⇔
at interval of: 25

点击**[OK]**确定，再点击**[CLOSE]**关闭 **Columns**（列）的窗口。

下一步，要修改加油站到供水井区域 Y 方向的网格。

单击**[Edit Grid] Edit Rows**（编辑行）

在网格的任意位置点击鼠标**右键**，就会弹出一个 **Add Horizontal Line**（增加水平线）的窗口（图 12），选择⊙**Evenly spaced gridlines from:**

在调整文本框中点击，并输入以下数据：

from: 400 ⇔
to : 1900 ⇔
at interval of: 25

点击**[OK]**确定，再点击**[CLOSE]**关闭 **Rows**（行）的窗口，退出。

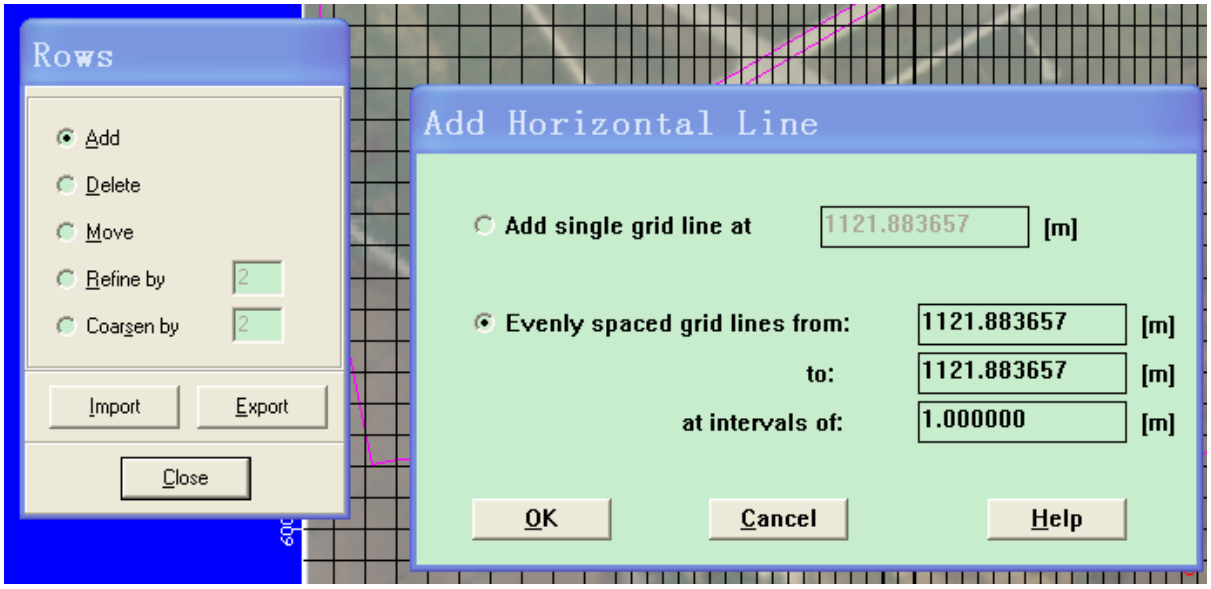


图 12

修改后的网格应该如图 13 所示：

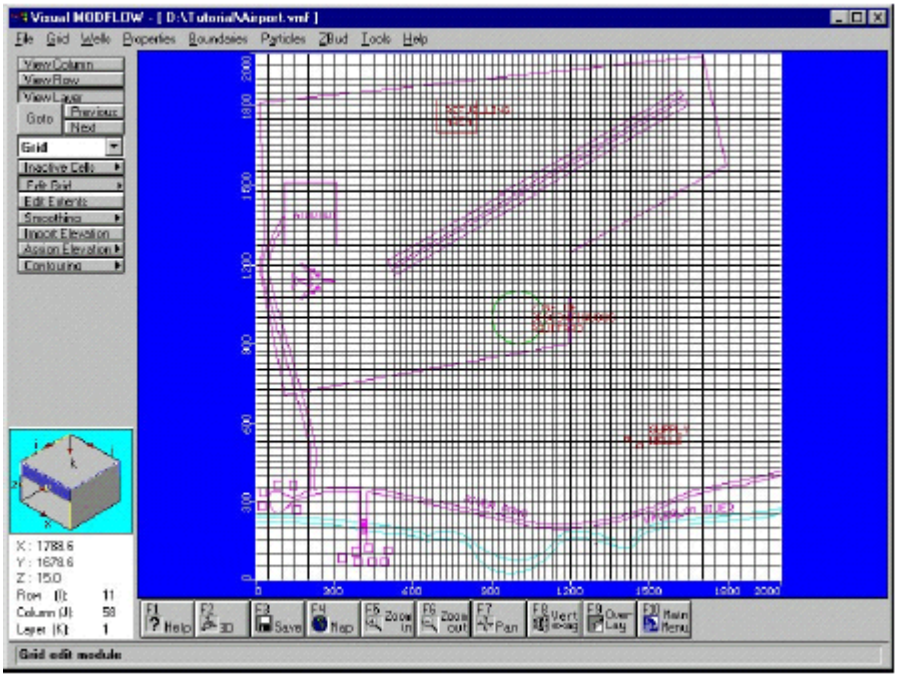


图 13

接下去的步骤会教你怎样查看模型的横截面以及怎样给模型增加新的层数。

查看模型的横截面：点击左边工具栏中的**[View Column]**（查看列），

把光标移到网格中的任意位置。当在屏幕上移动光标时，有一条红色的竖杠会使某一列突出显示，它会随着鼠标移动。要选择一列查看，在选中的一列上单击鼠标左键，Visual MODFLOW 会把网格屏幕从平面图切换到横截面图显示。此时，模型由于没有纵向扩展，横截面图中的三层以接近一条粗线的形式显示，几乎不能分辨出这三层。为了比较合理地显示这三层，需要纵向放大横截面：

单击屏幕底部的**[F8-Vert Exag]**（纵向放大），就会弹出一个 **Vertical Exaggeration** 的窗口，提示输入纵向放大的值：**输入：40**

点击**[OK]** 模型的三个层面就会如图 14 所示：

从以上的数据可以看出，在整个横截面每层厚度都相同。然而自然条件下几乎不可能会有像这样水平，并且还具有相同厚度的地质条件的含水层。

在这个示例中，可以在模型区域中输入包含标高的，有确定的 X 和 Y 坐标的文本文件。

单击左边工具栏中的**[Import Elevation]**（输入标高），就会弹出一个 **Create grid elevation**（创建网格标高）的窗口（图 15）：

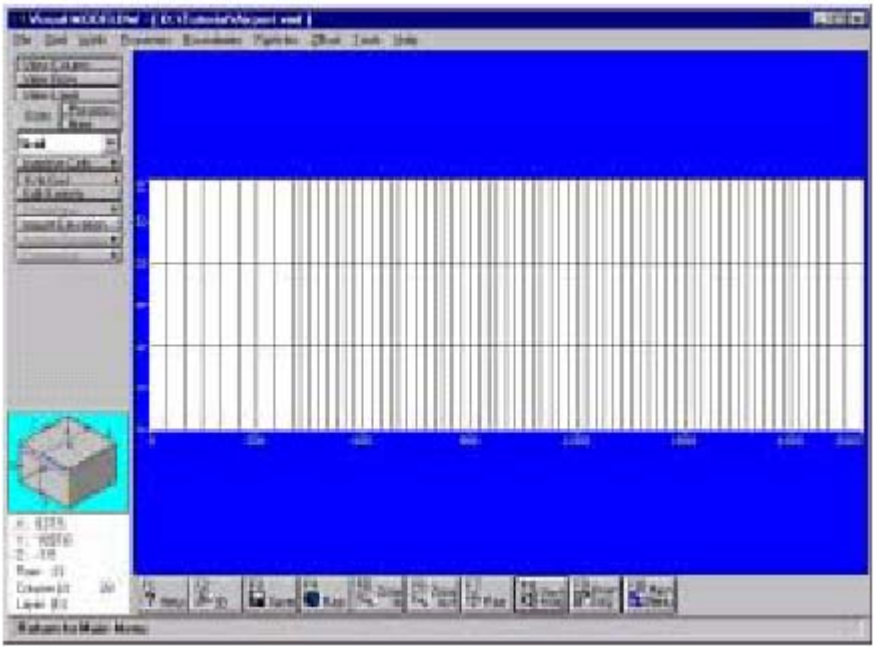


图 14

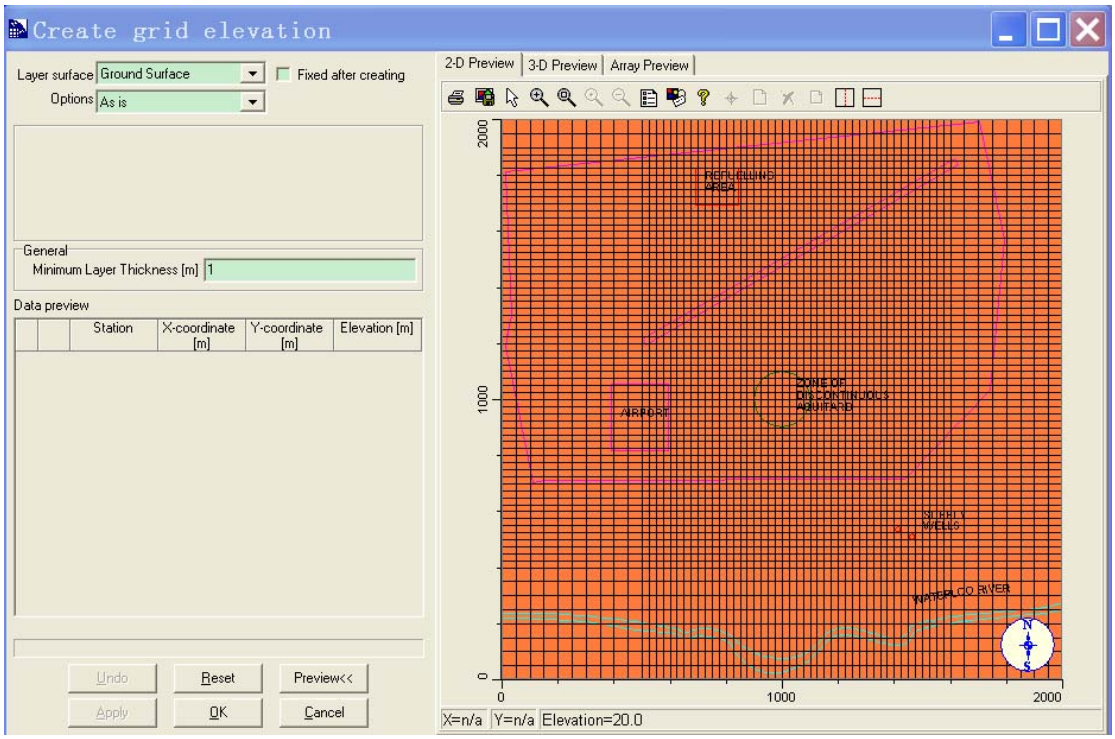


图 15

这个窗口要求为网格模型各层输入一组数据。在 **Layer surface** 栏中自动选择了 **Ground surface**，在窗口的右侧显示 **2-D** 和 **3-D**（2 维和 3 维）的插入层表面标高，以及逐格的展开层数据 **Array**（矩阵）。

点击 **Option**（选项）的下拉菜单，并选择 **Import date**。当选定这个选项后，就会在 **Option**（选项）下面出现 **Interpolation setting**（差分组合框）。这个组合框用于选择一个数据库文件以及差分法（Natural Neighbors, Kriging, Inverse Distance）。**Interpolation** 栏中自动选择了 **Natural Neighbors**。然而这个示例需要在下拉菜单中选择 **Inverse Distance（图 16）**。

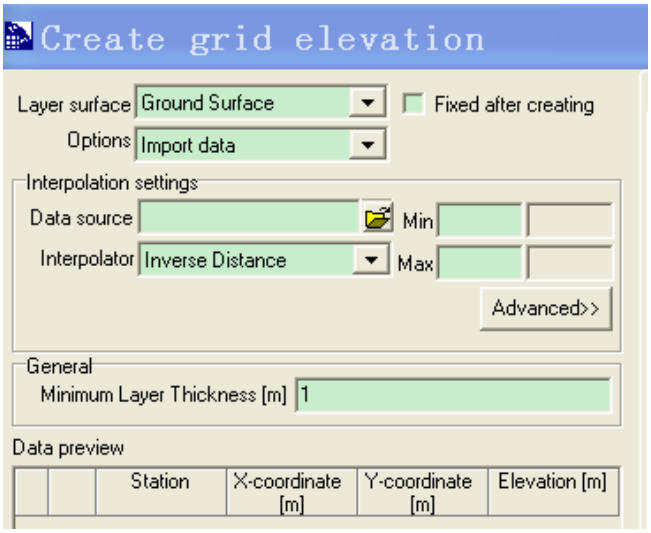


图 16

在 **Date source**（数据来源）栏中点击**打开文件夹**的图标，
就会出现如下的 **Open**（打开）窗口（图 17）：

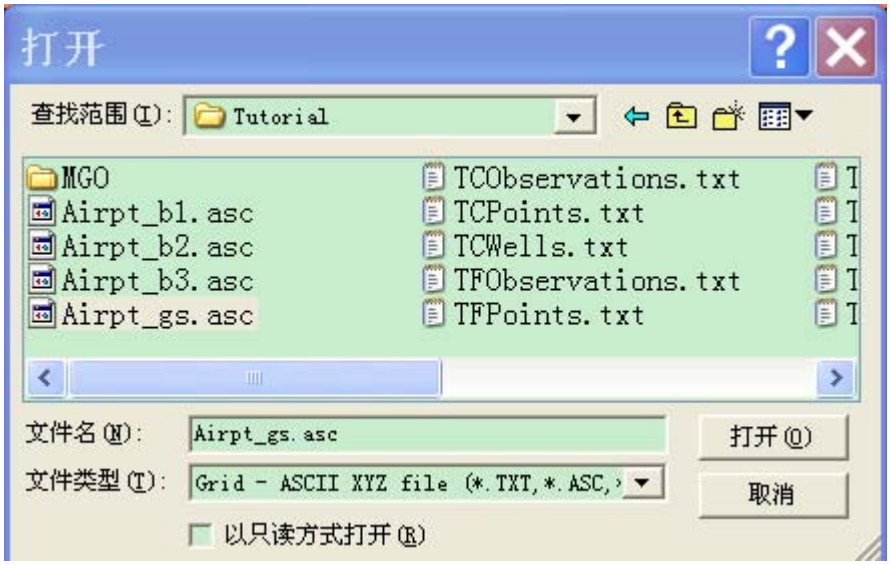


图 17

选择地表的顶层地层数据文件：
单击 **Airport_gs.asc**　　再单击**[Open]**
就会出现如下的 **Match field** 窗口（图 18）：

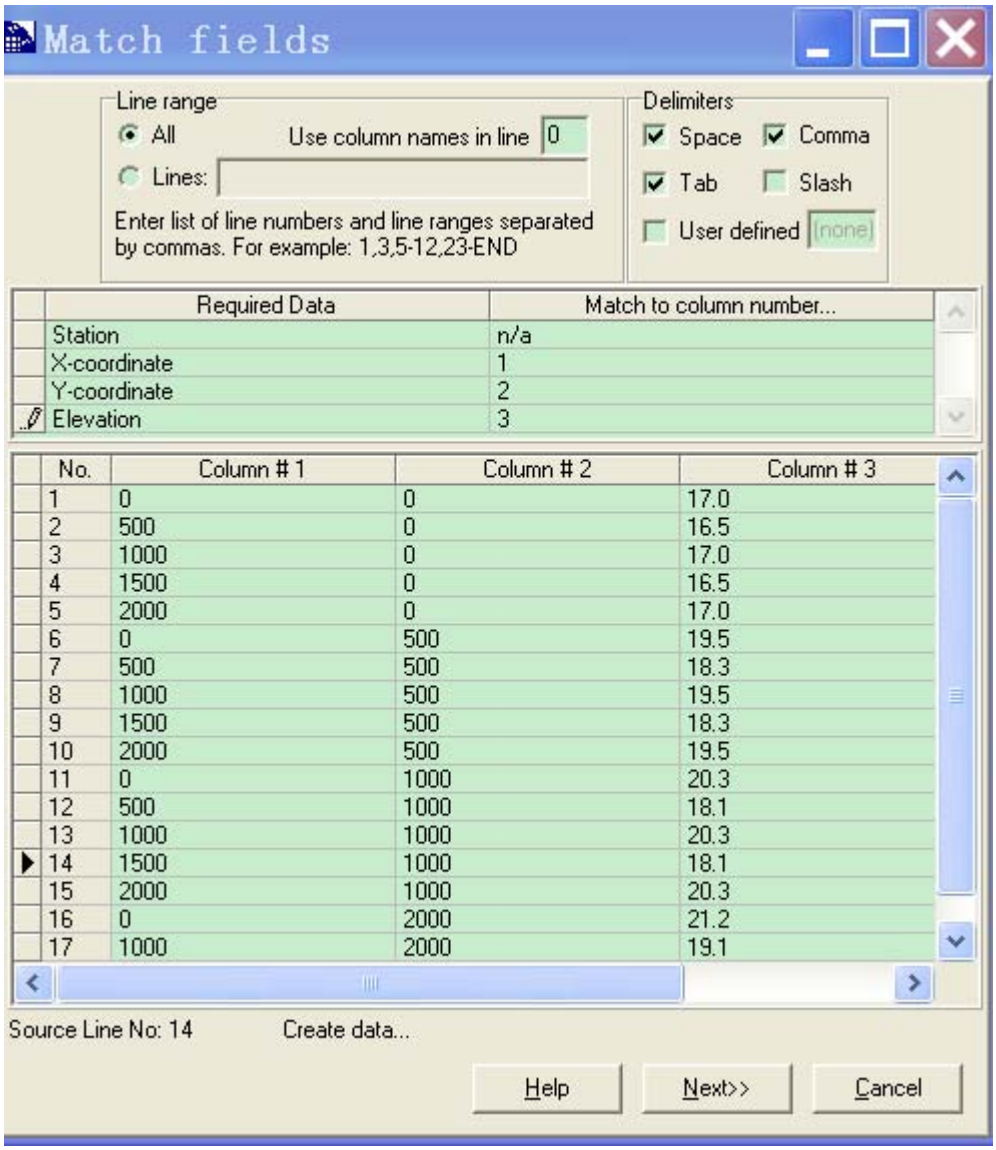


图 18

Required Data（所需数据）框列出了来自数据库的纵行数据，而且根据数值差分法，**Match to column number**（和列序号匹配）框用来把数据和各自相应的数据库相连接。如上窗口所示，在每栏中输入合适的数字，把 **X** 坐标与 **Column#1**（第一列）匹配，**Y** 坐标与 **Column#2**（第二列）匹配，**Elevation**（标高）与 **Column#3**（第三列）匹配。一旦这些列都匹配好了，**[NEXT]**按扭就会被激活。

单击**[NEXT]** 进入 **Data Validation**（有效数据）界面。如下图所示：

由于没有发现错误输入（错误的输入会以红色的字体显示），就确保了数据库中的数据都是有效的，而且数据都存在于模型范围内，如下图的 **Coordinate System and Uuits**（坐标系和单位）窗口所描述的。

单击**[Finish]** 进入 **Coordinate System and Uuits**（坐标系和单位）窗口（图 20），然后在 **Coordinate System**（坐标系）框中选择 **Model**（标准），在 **Elevation Units**（标高单位）框中选择 **Meter**（米）。如下图 20 所示：

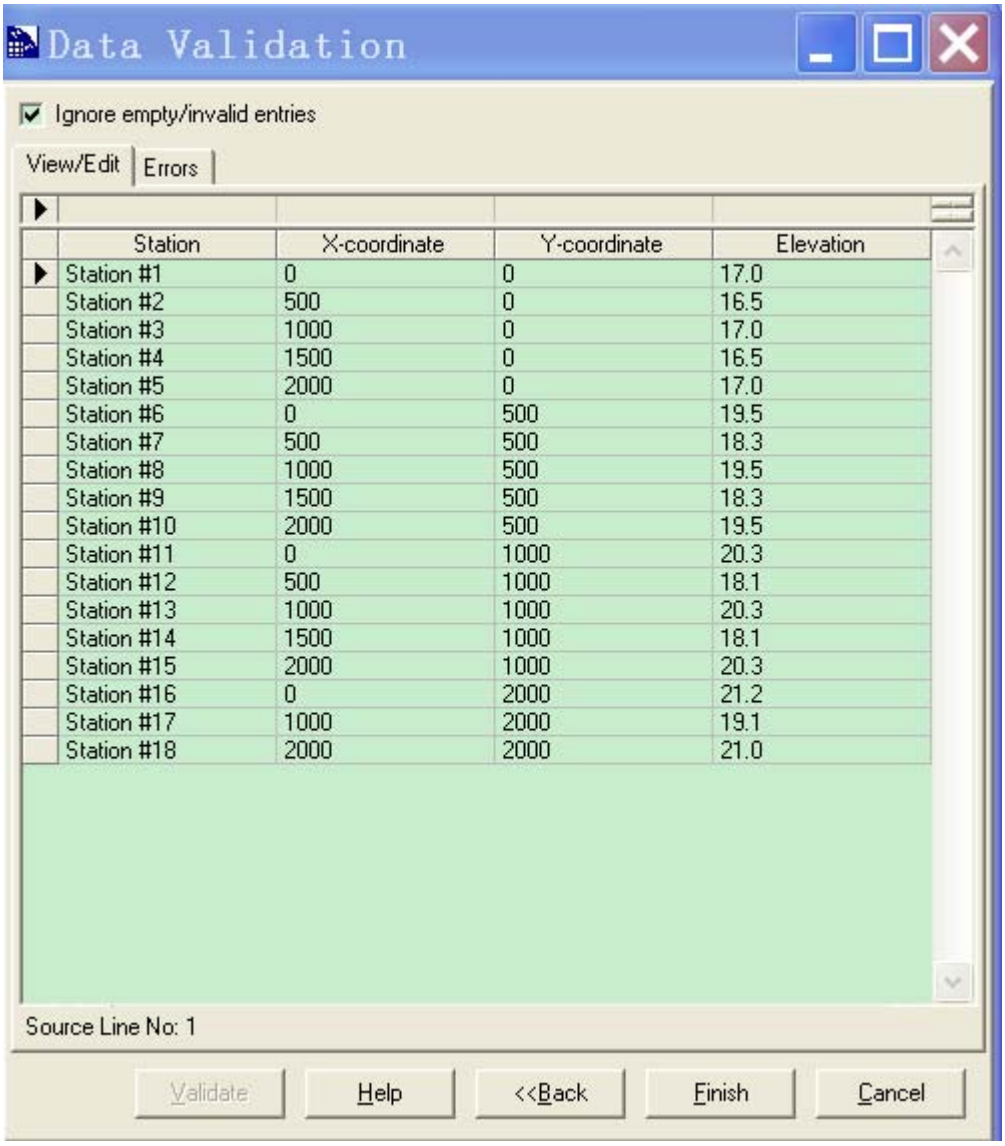


图 19

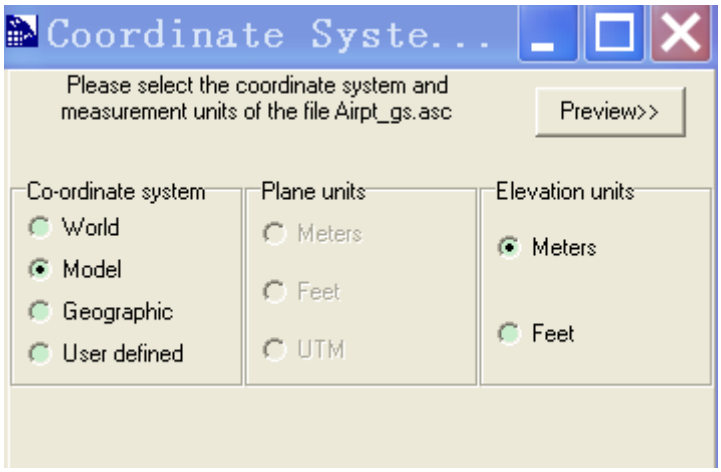


图 20

单击**[OK]**对输入的标高数据进行插值，就会出现如图 21 的窗口：

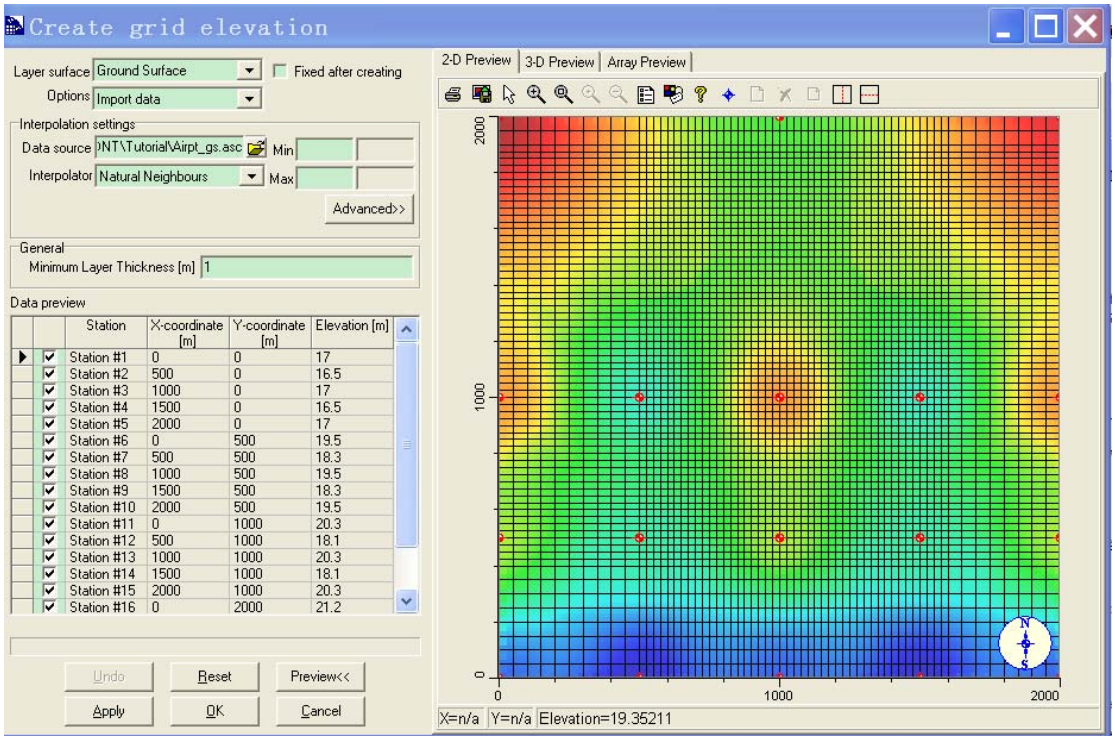


图 21

再单击**[OK]**

在进入下一步操作，把差分层的标高分配给选中的网格模型层之前，会出现一个 **Warning**（警告）框（图 22），确认标准的标高是否确实需要更改。



图 22

单击**[YES]**

如果所提出的对模型地表标高的更改，会和之前指定的边界条件上的水头值有冲突，就会出现一条警告信息，提供修改数据的机会。在这种情况下，不会发现潜在的问题。

下一步，将要给第一层输入底板标高：

单击**[Import Elevation]**（输入标高）；

在 **Layer surface** 栏的下拉菜单中  选择 **Bottom of Layer 1**；

在 **Option** 的下拉菜单中选择 **Import data**；并在其组合框中选择 **Inverse Distance** 的插分法；

在 **Date source**（数据来源）栏中点击**打开文件夹**的图标，

并选择 **Airpt-b1.asc** 。在 **Open**（打开）窗口中选择第一层的标高。

再单击**[Open]**。

把 **X** 坐标与 **Column#1**（第一列）匹配，**Y** 坐标与 **Column#2**（第二列）匹配，**Elevation**（标

高）与 **Column#3**（第三列）匹配。
单击**[NEXT]** 进入 **Data Validation**（有效数据）界面。
单击**[Finish]** 进入 **Coordinate System and Units**（坐标系和单位）窗口，然后在 **Coordinate System**（坐标系）框中选择 **Model**（标准），在 **Elevation Units**（标高单位）框中选择 **Meter**（米）。
单击**[OK]**对输入的标高数据进行插分，
在 **Create grid elevation**（建立网格标高）的窗口再单击**[OK]；**
单击**[YES]**确认对模型标高的更改。
这时会发现第一层的底部会呈现不同的标高。接下去再按此步骤完成对第二层和第三层标高的更改：
单击**[Import Elevation]**（输入标高）；
在 **Layer surface** 栏的下拉菜单中选择 **Bottom of Layer 2**；
在 **Option** 的下拉菜单中选择 **Import data**；并在其组合框中选择 **Inverse Distance** 的插分法
在 **Date source**（数据来源）栏中点击**打开文件夹**的图标，
并选择 **Airpt-b2.asc** 。在 **Open**（打开）窗口中选择第二层的标高。
再单击**[Open]。**
把 **X** 坐标与 **Column#1**（第一列）匹配，**Y** 坐标与 **Column#2**（第二列）匹配，**Elevation**（标高）与 **Column#3**（第三列）匹配。
单击**[NEXT]** 进入 **Data Validation**（有效数据）界面。
单击**[Finish]** 进入 **Coordinate System and Units**（坐标系和单位）窗口，然后在 **Coordinate System**（坐标系）框中选择 **Model**（标准），在 **Elevation Units**（标高单位）框中选择 **Meter**（米）。
单击**[OK]**对输入的标高数据进行插分，
在 **Create grid elevation**（建立网格标高）的窗口再单击**[OK]；**
单击**[YES]**确认对模型标高的更改。
这时会发现第二层的底部会呈现不同的标高。
接下去再按以上步骤完成对第三层表面标高的更改。要注意对 **Bottom of Layer 3** 来说要在下拉菜单中选择 **Airpt-b3.asc**。第三层的底部同样也呈现不同的标高。
模型的横截面应如图 23 所示（图为第 38 行横截面）：
为了得到一个更好的纵向模型网格描绘，还可以对每层进行分层。
在左边的工具栏中单击**[Edit Grid]Edit Layer**（编辑层）
就会弹出一个 **Layer**（层）的窗口，单击⊙**Refined by**，在输入框中输入 **2，**
把鼠标移到模型的横截面中，就会高亮显示该层表面。把鼠标放在与第一层顶部相对应的线上，在那里左键单击；然后把鼠标移到该层相对应的底线上，在那里再单击左键。这样在第一层垂直方向上的中心位置就会增加一个已经变形的层，即平均分为两层。重复此操作对第二层（隔水层）和第三层（下部承压含水层）也进行分层。
当完成所有这些操作时，单击 **Layer**（层）窗口中的**[Close]**退出。

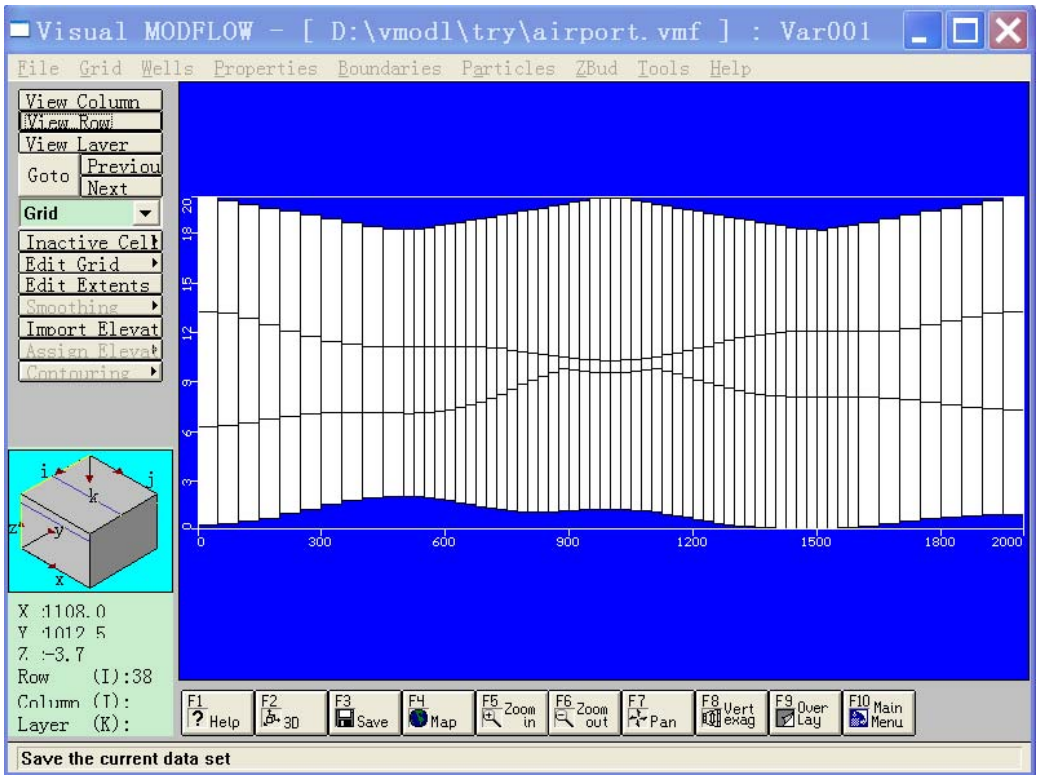


图 23

模型的横截面现在就由六层组成，而且应该和图 24 所示的相似（图中为第 38 行）：

接下去要返回到模型的层界面，在左边的工具栏中点击**[View Layer]**　当鼠标放在第一层，并显示不同颜色时就在该层单击左键。这样就会出现 Airport 地区的平面图。

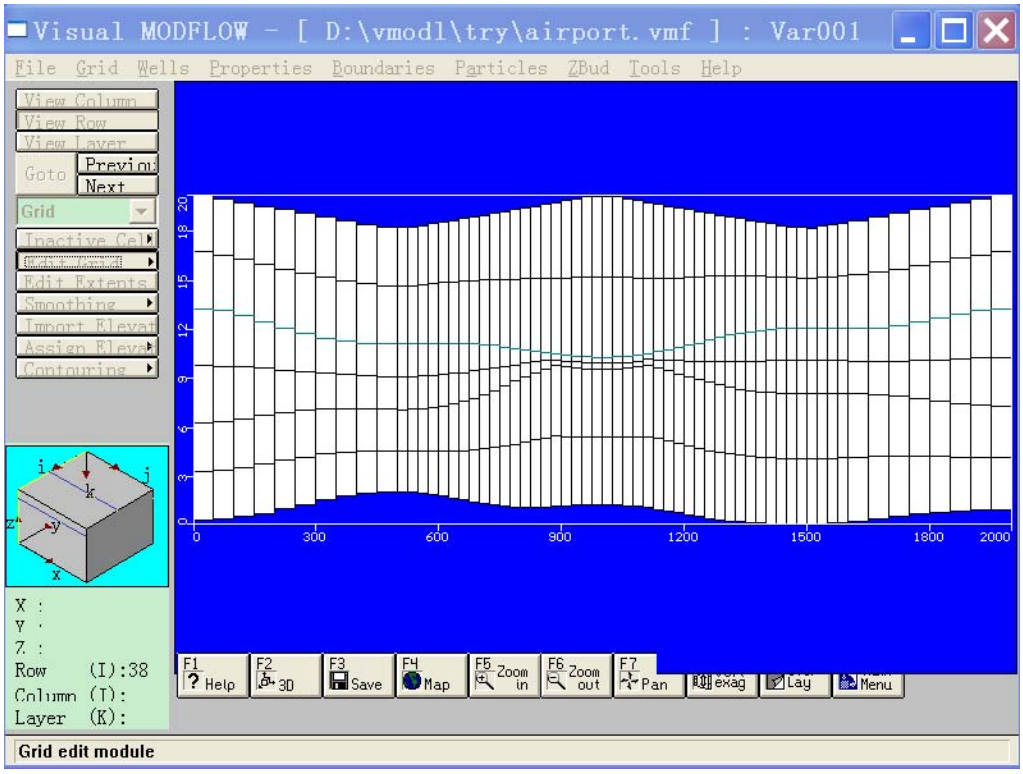


图 24

第三部分：添加抽水井

这个部分的目的是指导给模型添加抽水井的必要步骤。

在主菜单中单击**[Well]**

在其下拉菜单中单击**[Pumping Wells]**

这时会出现要求保存资料的窗口，点击**[YES]**保存，并继续。

一旦模型保存好了，屏幕就会切换到 **Pump Well**（抽水井）的界面。注意到左边的工具栏中的按扭现在是变为井选项，如添加、删除、编辑、移动以及拷贝抽水井。在为这个模型添加抽水井之前，对抽水井周围地区进行放大（抽水井位于模型范围的右下角）。

单击**[F5-Zoom In]**

把鼠标移到抽水井的右上角，左键单击。然后覆盖抽水井所在区域，拉出一个记号框，再单击左键。所选区域就被放大了。

接着给模型添加抽水井：

单击**[Add Well]**

把鼠标移到有抽水井标记的西面，然后在那里左键单击，就添加了一个抽水井。此时会弹出一个 **New Well**（新建井）的窗口（图 25），提示输入指定的资料。

输入以下信息：**Well Name :**

Supply Well 1

X : **1415**

Y : **535**

要增加 **Screened Interval**，

点击 **Screen Bottom** 所在列，

并输入以下值：

Screen Bottom (m) : 0.3

Screen Top (m) : 5.0

注意到井的过滤器长度在窗口右边的井孔图表中显示出来。井的过滤器长度可以通过点击并拖动过滤器边缘到新的标高来改变。

要输入井的 **Pumping Schedule**（抽水时间），在 **End(day)**所在列下面的文本框左键单击鼠标，然后输入以下信息：

End (day) : 7300

Rate (m^3/day) : -400

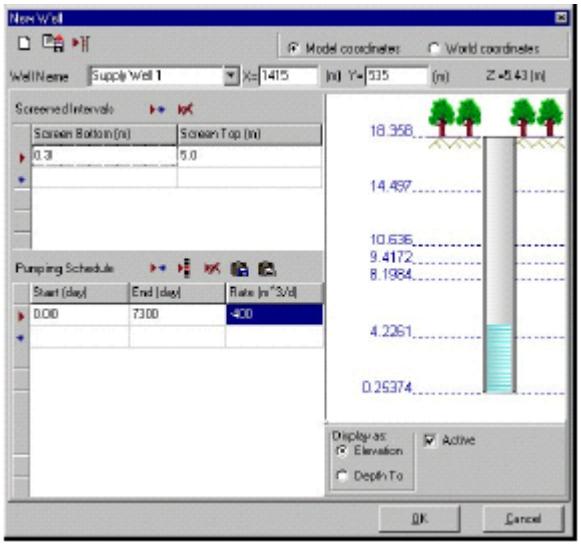


图 25

单击**[OK]**确定。

选用 7300 天作为结束时间是因为这个模拟将要进行 20 年。然而，由于这是稳定流的流动模拟，可以任意确定模拟时间，但这个水流模拟的结果不会改变。稳定流模型的意思是这个模型给每个参数赋上第一次输入的值来进行模拟，直到达到平衡，而不管相对时间如何改变。抽水量为负值是因为这是一个抽水井。如果在输入所需数据时失败了，Visual MODFLOW 会提示再次完成表格。

下一步是用一条捷径给第二个抽水井设定参数。这条捷径会把这个井的特征全都拷贝到另一个井。

在左边的工具栏中点击**[Copy Well]**

把鼠标箭头指在西边的井上（供水井 1），并左键单击。然后把鼠标移到东面的井上，再单击左键，就拷贝了一个井。下一步要对新（拷贝）井进行编辑。

在左边的工具栏中点击**[Edit Well]**，并单击新井，就会出现一个 **Edit Well** 的窗口。当前该井的命名为“Supply Well 1（2）”。把 **Well Name** 对应栏中井的名称改为**“Supply Well 2”**，并输入：**X=1463，Y=509， Rate (m^3/day)： -550**

单击**[OK]**确定。

单击**[F6-Zoom out]**

第四部分：赋水流模型属性

这个部分是指导建立一个模型，其各层渗透系数相差很大的必要步骤。

在主菜单上点击 **Properties/Conductivity**（参数/渗透系数）

在弹出的窗口中点击**[YES]**保存资料。

现在屏幕就切换到 **Conductivity**(渗透系数)的输入界面，在那里可以对模型的渗透系数(Kx，Ky，Kz）进行修改。

在左边的工具栏中点击**[Database]**按扭，并在弹出窗口中输入以下值：

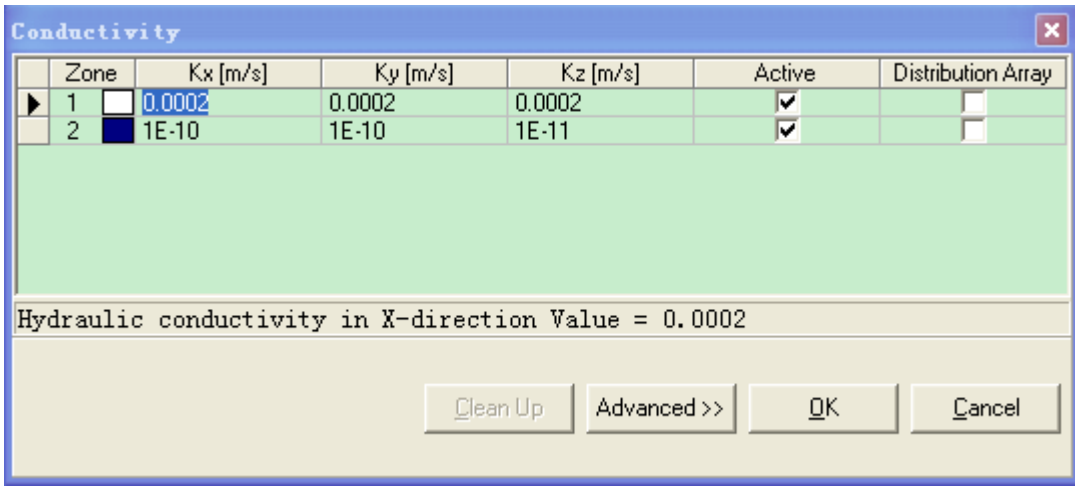


图 26

Kx（m/s）： 2e-4

Ky（m/s）： 2e-4

Kz（m/s）： 2e-4

单击**[OK]**确定。

要注意此时的 Kx，Ky，Kz 值都相同，这表示假设给定的值在水平和垂直方向上是各向同性的。但也可以通过修改渗透系数给模型设定各向异性的特征值。

在这个六层的模型中，第一、第二层表示上层含水层；第五、第六层表示下层含水层；第三、第四层表示分隔上下含水层的弱透水层。在这个示例中，把之前设定的渗透系数用于第一、二、五、六层（含水层），同时给第三、四层（弱透水层）设定不同的渗透系数。要注意到第一层是模型的顶层。

在左边的工具栏中单击**[Goto]**，就会弹出一个 **Go To Layer** 的窗口，

在窗口中输入 **3**， 单击**[OK]**确定。

现在就在第三层（弱透水层）的界面上。下一步是给弱透水层（第三、四层）设定较小的渗透系数值。可以在模型网格上指定参数值。

在左边的工具栏点击**[Assign]**， 再单击**[Window]**，这个功能可以给指定的矩形框内赋值一

个不同的渗透系数。

把鼠标移到网格的西北角，并在顶角的网格中点击左键。然后把鼠标移到网格的东南角，并在顶角的网格中点击左键，此时就创建了一个白色的界面覆盖整个层面。此时会出现一个**Conductivity-[Assign Window]**的对话框（图 27）。

单击**[New]**，这个网格就会变成蓝色的，而且 **Zone#**值变为 **2**。

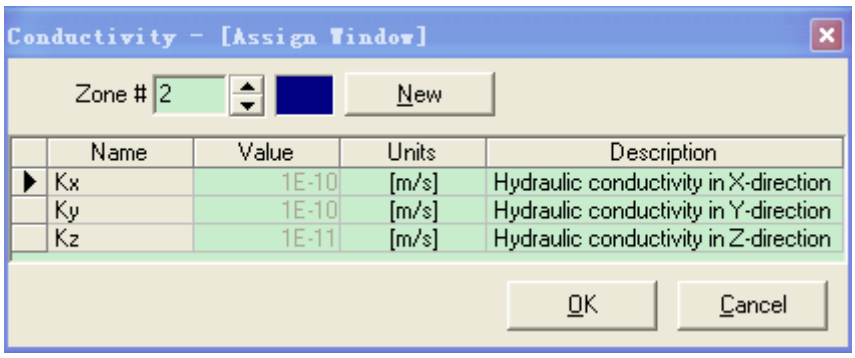


图 27

对新的 **Zone#2** 输入渗透系数，单击 **Kx** 对应栏，并输入以下值：

Kx（m/s）： 1e-10

Ky（m/s）： 1e-10

Kz（m/s）： 1e-11

单击**[OK]**确定。

现在把第三层的渗透系数拷贝给第四层：

在左边的工具栏中单击**[Copy>]Layer**

再单击**[Window]**， 就会弹出一个 **Copy Layer** 的窗口，

选择 **Select all/highlighted zone**（注意到 **Zone** 部分的 **Zone#2** 会自动选中）

在 **target layer**（目标层）中选择 **Layer 4**（第四层）

单击**[OK]**，就把 **Zone#2** 中第三层的渗透系数值拷贝到第四层了。

现在来观察模型的横截面，看三个水文地质单元。

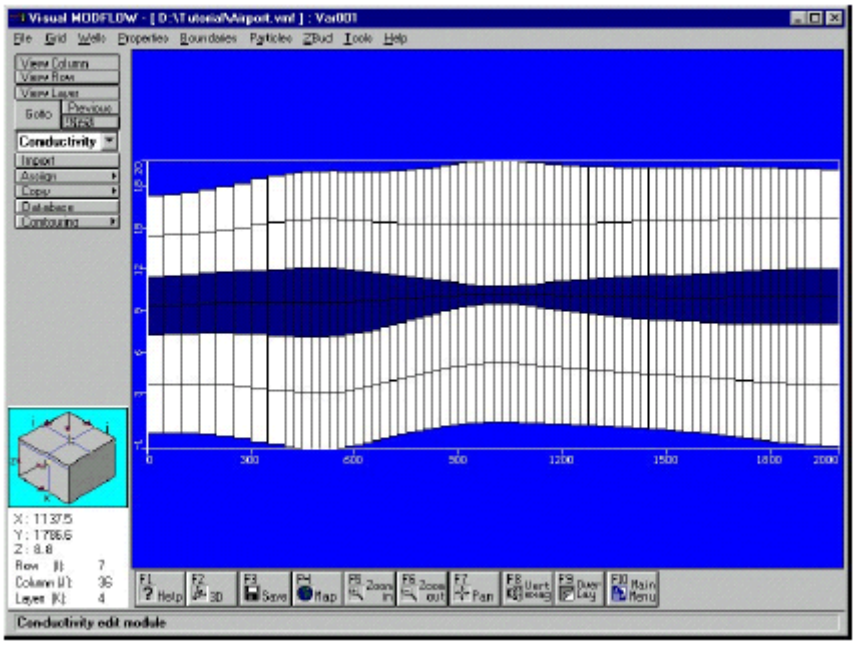


图 28

在左边的工具栏中点击**[View Column]**，并在不连续的隔水层区点击其中一列。
上、下含水层以及隔水层由于导水特性不同而呈现不同的颜色，这可以在平面图上显示出来，如图 28 所示：（图为第 36 列）。
尽管弱透水层在趋于尖灭的地方很薄，但这些地区的渗透系数也要和上、下含水层的渗透系数一样设置。要做到这一步，必须返回到模型的层界面：
在左边的工具栏点击**[View Layer]**，并在图中第三层处单击左键。在这个特殊的示例中，不连续隔水层范围在 **DXF** 图中已经有显示。但是，在很多情况下，这在地图上是没有标注的，必须依靠其他标志：如根据层的厚度确定水文地质单元尖灭的区域。
下面要显示第三层的厚度：
在底部的工具栏中单击**[F9-Overlay]**按扭，就会弹出一个如下所示的 **Overlay Control** 的窗口（图 29），窗口中包含一系列有用的叠加层。当在模型输入参数时，这些叠加层就可见了。

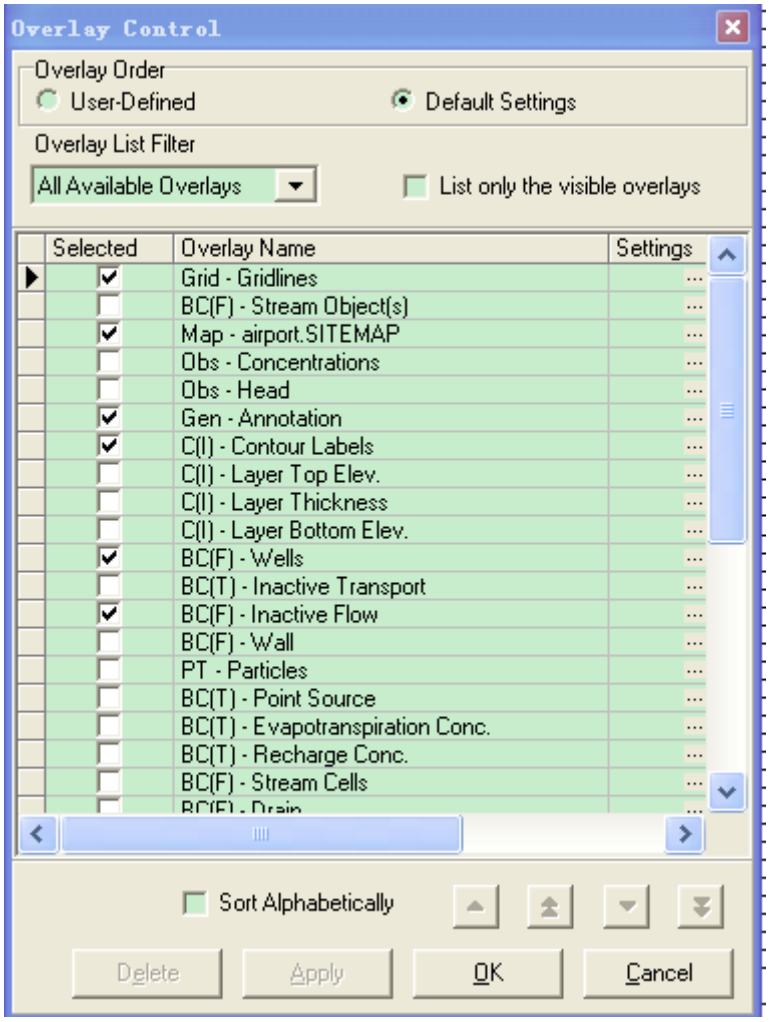


图 29

选中 ☑ **C(I)-Layer Thickness**

单击**[OK]**显示该层厚度的轮廓图。
注意：如果由于背景颜色的关系，看不到轮廓线，可按以下步骤操作：
单击**[F9-Overlay]**按扭

选中☑**C(I)-Layer Thickness**，并单击这一行右边的**[…]**按扭，就会弹出一个 **C(I)-Layer**

Thickness 的选项框，在这里可以改变轮廓的设置。可以尝试把线加粗（增加宽度），选择不同的颜色，加大标签大小（例如 13）。

下一步，放大等值线为 **0.5** 厚的区域，

单击**[F5-Zoom in]**把鼠标移到不连续隔水层的左上角，单击鼠标左键，然后在所选区拉出一个框，再单击左键。屏幕上就会出现不连续隔水层的放大图形。

单击**[Assign>]**， 选择**[Single]**对每个网格都设定特征值。

此时会弹出一个 **Conductivity-[Assign Single]**的对话框，显示在（**Zone#2**）输入的最后一个 **K** 值。点击 **Zone#**栏向下箭头，**Zone#1** 的 **K** 值就选中了。

此时先不要选择**[OK]**

把鼠标移到标有 **0.5** 米轮廓线的不连续隔水层处，按住鼠标左键并在 **0.5** 米的区域内拖动鼠标，直到该区域内的网格都变成了白色（如图 30 所示）：

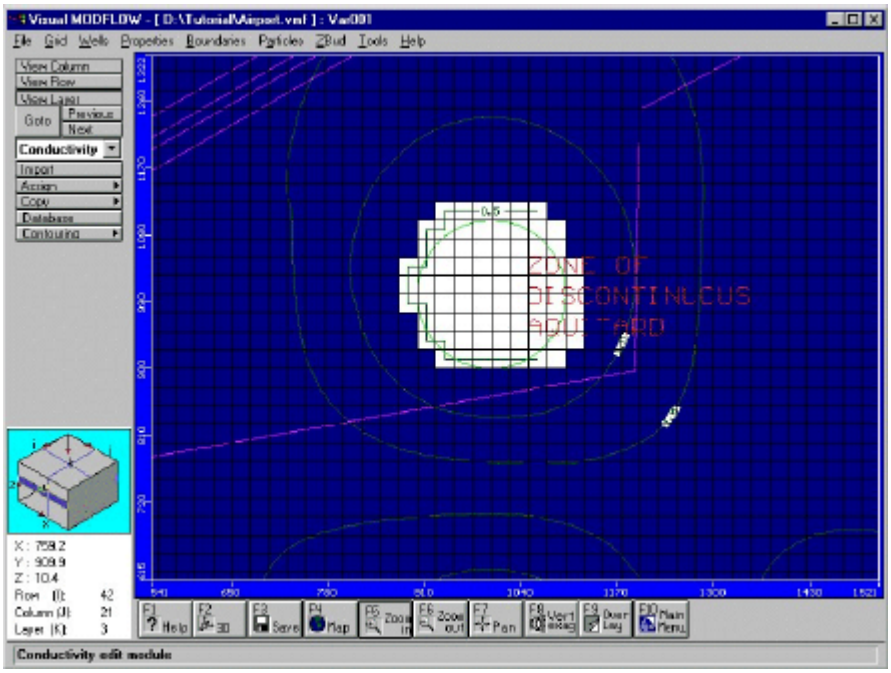


图 30

如果不小心选择了一些不应包括在内的网格，在这些网格上点击右键把它们变回原来的设置。一旦完成描绘这些网格，

在 **Conductivity-[Assign Window]**的对话框中点击**[OK]。**

下一步要把第三层的导水区域拷贝到第四层：

在左边的工具栏中单击**[Copy>]Layer，**就会弹出一个 **Copy Layer** 的窗口，列出了当前层中可用的导水区（**Zone#1 和 Zone#2**），以及要被拷贝的目标区。

选择☑**Select all/highlighted zone**（注意到 **Zone#1** 和 **Zone#2** 都自动被选中） 在 **target layer**

（目标层）中选择☑**Layer 4**（第四层），

单击**[OK]**，就把 **Zone#2** 中第三层的导水带拷贝到第四层了。

单击**[F6-Zoom out]**返回到整个模型的全屏显示，要观察模型的横截面。

单击**[View Column]** 在不连续隔水层地带选择一列并点击左键（如第 31 列）。就会出现如下图所示的一个横截面图（图 31）：

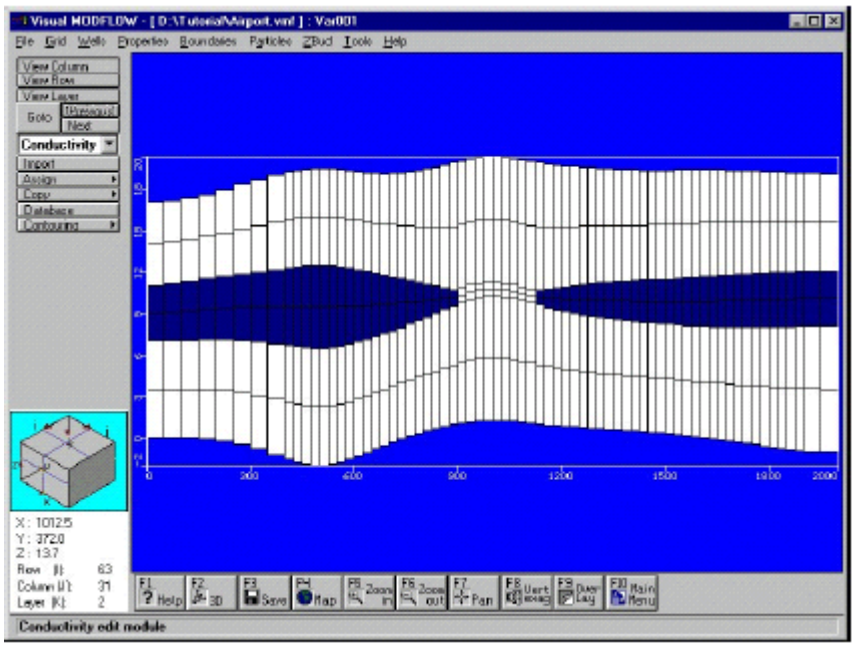


图 31

要返回平面图可以点击**[View Layer]**按扭，然后在横截面图中左键单击第一层。接下去要修改贮水率（释水率）。

在主菜单上点击 **Properties/Storage（参数/释水率），**

就会切换到 **Storage**（释水率）界面，此处只能修改默认的贮水率值，但不能更改给水度、有效空隙度或总空隙度的值。

单击 **Database**，然后输入贮水率 **Ss（1/m）=1E-4**（如图 32 所示）：

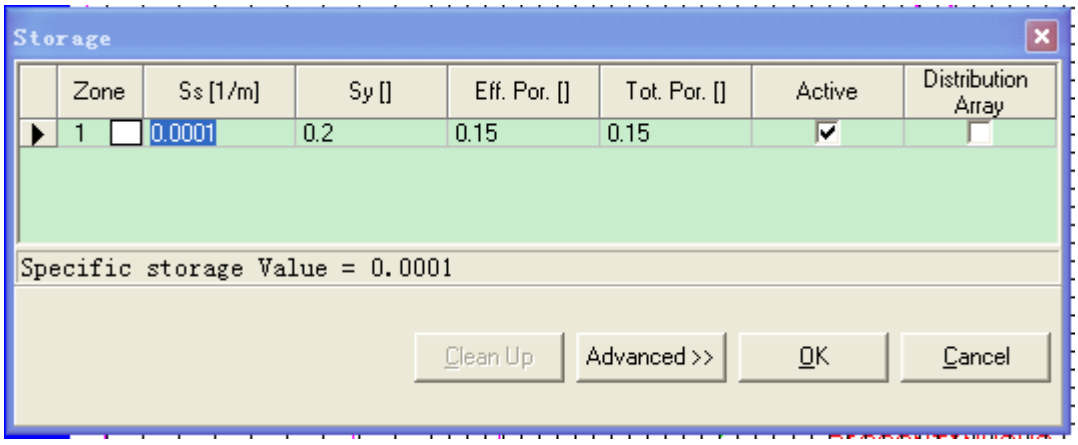


图 32

单击**[OK]**确定。

该层的厚度轮廓仍然可见，要去掉这些轮廓：

单击**[F9-Overlay]**按扭，取消 **C(I)-Layer Thickness**

单击**[OK]**确定，此时该层的厚度轮廓线就取消了。

现在就完成了使用指南中如何给区赋恒定值的部分。在这个示例中，已经修改了模型的贮水率和渗透系数。Visual MODFLOW 还提供了相同的绘图工具为水流模型编辑初始水头，以及和水流及运移过程相关的参数。

第五部分：给定水流边界条件

下面这部分是描述给定不同模型边界条件的所需步骤。

一、确定模型含水层的补给条件

在大多数情况下，含水层都是通过地表水入渗补给的。在 Visual MODFLOW 中为了确定补给，必须要到模型顶层界面。检查屏幕左下角的导航立方体，可以看到目前所在的层位。第一个要确定的边界条件是含水层的补给量。

单击主菜单上的 **Boundaries/Recharge**

如果正在对一个新的模型进行操作，此时就会弹出一个 **Recharge-[Assign Default Boundary]** 的窗口，提示输入 **Stop Time**（停止时间）。要注意当建立模型后，给定的默认补给量为 **0**。Visual MODFLOW 自动给模型的整个顶层赋予这个值。在弹出框中输入：

Stop Time [day] : 7300

Recharge [mm/yr] : 100

单击**[OK]**确定。

单击**[F5-Zoom in]** 把鼠标移到加油站的左上角，并单击左键。然后在加油站区拉出一个框，再单击左键关闭放大窗口。现在要给加油站地区设定一个大一点的补给量，那里飞机燃料每天都有泄露。

单击**[Assign>]Window**

把鼠标移到加油站区的左顶角，单击左键，然后在加油站区拉出一个框，再单击左键。此时会弹出一个 **Recharge-[Assign Window]**的窗口，如图 33 所示：

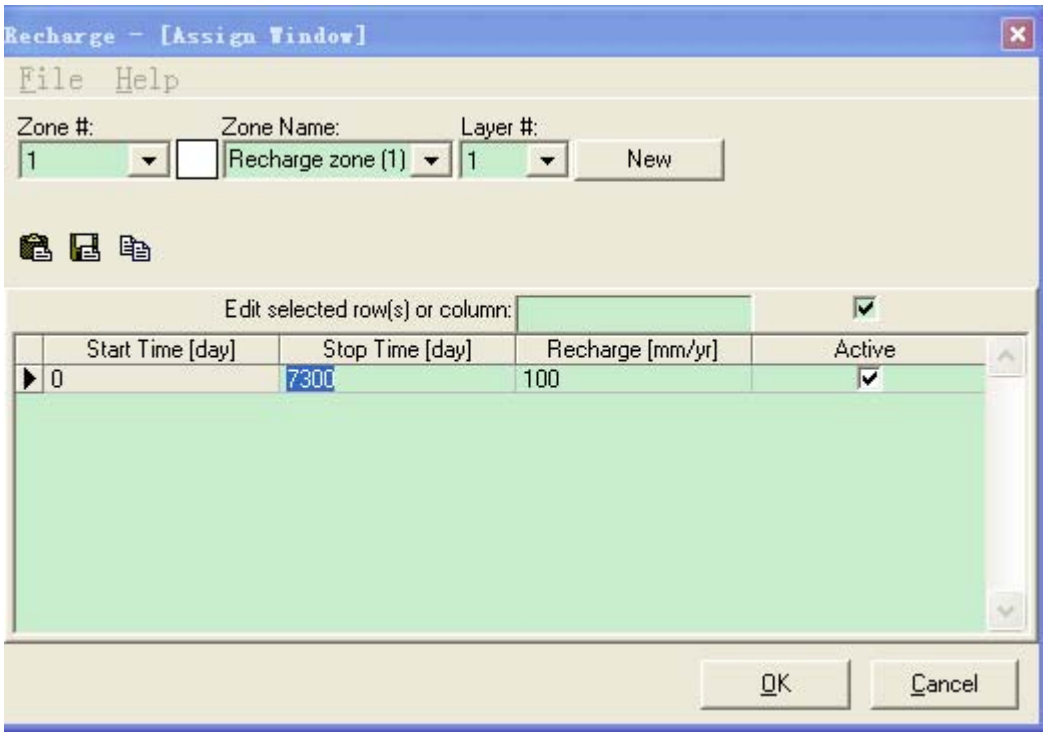


图 33

单击**[New]**建立一个新的补给区。**Zone#**一栏的值会增加为 **2**，而且 **Zone** 的颜色预览框会变成蓝色。输入以下数值：

Stop Time [day] : 7300 Recharge [mm/yr] : 250

单击**[OK]**确定。

此时加油站地区的网格就会变成蓝色的，这表明该区域为 **Zone#2** 的补给值。现在要返回到第一层的全视图。

单击**[F6-Zoom out]**

二、设定定水头边界条件

下一步是对模型中潜水和承压含水层的南北边界设定定水头边界条件。

从主菜单中选择 **Boundaries/Constant Head**，或者从左边的工具栏中的可选框中把 **Recharge** 改选为 **Const.Head**。 点击**[YES]**保存补给量数据。



第一个定水头边界条件是沿着模型的北边界对上层潜水含水层设定的。要做这一步，就要用到**[Assign>]Line** 工具，沿着北边界的一行网格设定定水头边界。

在左边的工具栏中点击**[Assign>]Line**

把鼠标指针指向西北角的网格（左顶角），在此单击左键固定直线的起点。接着把鼠标指针指向东北角的网格（右顶角），在此单击**右键**，表示直线的终点。这时，一条水平网格线就显示成粉红色，同时出现一个 **Constant-Head-[Assign Line]**的窗口，如图 34 所示：

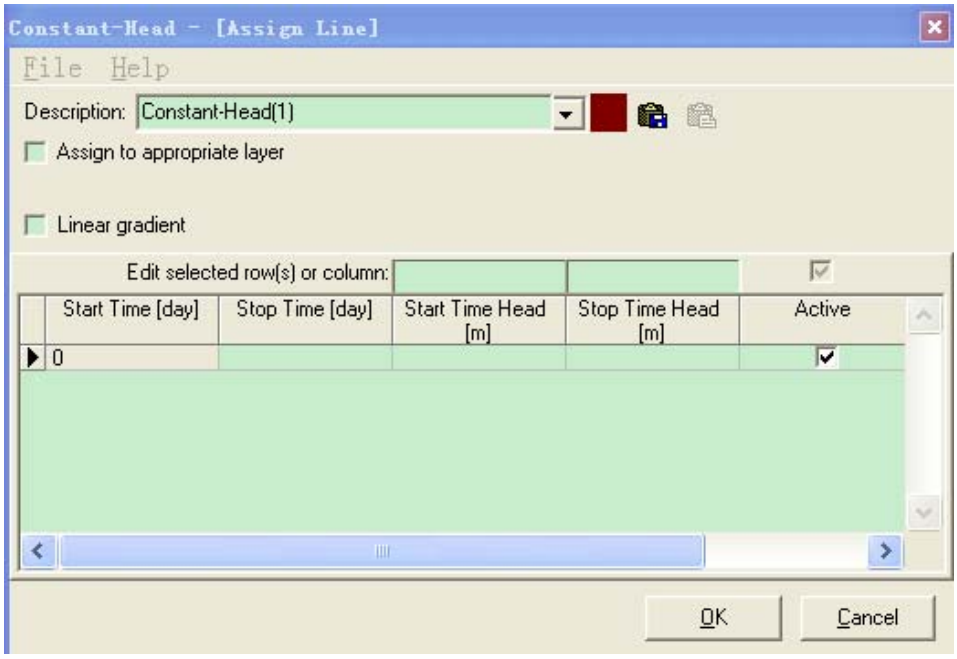


图 34

输入以下数据：**Description:** **CH-Upper Aquifer-North**

Stop Time(day): **7300**

Start Time Head (m): **19**

Stop Time Head (m): **19**

单击**[OK]**确定。

网格中粉红色的线现在就变成深红色，表明对这些网格已经确定了定水头边界条件。

下一步要把第一层的定水头值拷贝给第二层中相同位置的网格中。

在左边的工具栏中单击**[Copy>]Layer**

就会弹出一个 **Copy Layer** 的窗口，如图 35 所示：这个窗口允许从当前层中选择定水头边界条件网格，并把它拷贝给该模型的其它层。

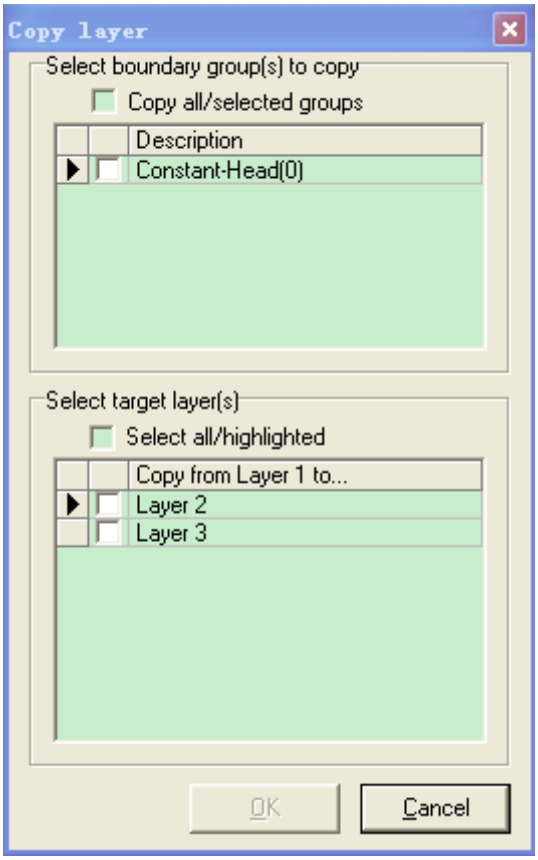


图 35

在 **Description** 栏中选择
CH-Upper Aquifer-North

并在下方组合框中选中 ☑**Layer 2**

单击**[OK]**确定，就把第一层中选定的定水头拷贝给第二层了。
下一步是沿着模型的北边界对下层承压含水层设定定水头边界条件。
在左边的工具栏中选择**[Goto]**，就会弹出 **Go To Layer** 的窗口。在 **Layer you wish to go**（想要切换的层）一栏中，默认值为 **1**，把它该为 **5**。
单击**[OK]**就跳到第五层。
查看导航立方体，确定现在处于第五层。当前层号在 **Layer（K）**中显示。现在沿着第五层北边界的网格设定定水头边界条件。
在左边的工具栏中点击**[Assign>]Line**
把鼠标指针指向西北角的网格（左顶角），在此单击左键固定直线的起点。接着把鼠标指针指向东北角的网格（右顶角），在此单击**右键**，表示直线的终点。
这时，一条水平网格线就显示成粉红色，同时出现一个 **Constant-Head-[Assign Line]**的窗口，并输入以下数据：

Description: **CH-Lower Aquifer-North**
Stop Time(day): **7300**
Start Time Head (m): **18**
Stop Time Head (m): **18**

单击**[OK]**确定。

网格中粉红色的线现在就变成深红色，表明对这些网格已经确定了定水头边界条件。
下一步是沿着模型的南边界对下层承压含水层设定定水头边界条件。
在左边的工具栏中点击**[Assign>]Line**
把鼠标指针指向西南角的网格（左底角），在此单击左键固定直线的起点。接着把鼠标指针指向东南角的网格（右底角），在此单击**右键**，表示直线的终点。
这时，一条水平网格线就显示成粉红色，同时出现一个 **Constant-Head-[Assign Line]**的窗口，并输入以下数据：

Description: **CH-Lower Aquifer-South**
Stop Time(day): **7300**
Start Time Head (m): **16.5**
Stop Time Head (m): **16.5**

单击**[OK]**确定。
网格中粉红色的线现在就变成深红色，表明对这些网格已经确定了定水头边界条件。
下一步要把第五层的定水头值拷贝给第六层中相同的网格中。
在左边的工具栏中单击**[Copy>]Layer**
就会弹出一个 **Copy Layer** 的窗口， 这个窗口允许从当前层中选择定水头边界条件网格，并把它拷贝给该模型的其它层面。

选中☑**Copy all/selected groups**， 并选中☑**Layer 6**

单击**[OK]**确定，把第五层中选定的定水头拷贝给第六层。
现在沿着某一列观察模型的横截面图，看定水头边界条件给定的地方。
在左边的工具栏中点击**[View Column]** 在模型中不连续隔水层地带选择一列并点击左键（如第 29 列）。就会出现如图 36 所示的一个横截面图：

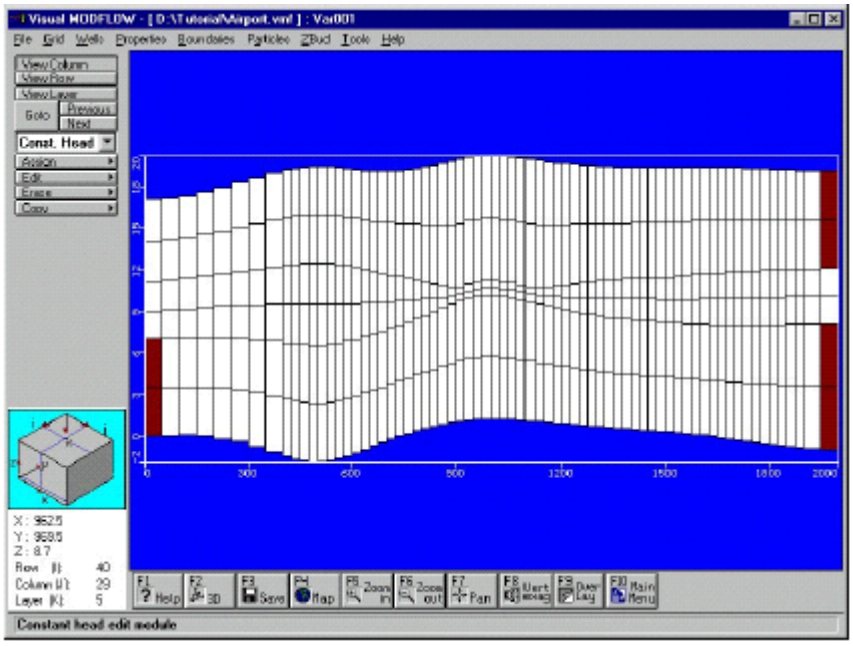


图 36

同时还可以显示渗透性分区。
在底部的工具栏中单击**[F9-Overlay]**按扭，就会弹出一个如下所示的 **Overlay Control** 的窗口，窗口中包含一系列可用的叠加层，可以选中或取消。

点击下拉箭头，选择 **Properties**，

并在其层叠菜单中选中☑ **Prop（F）-Conductivities**

单击**[OK]**，显示渗透系数的叠加层。
模型的中间层（第三、四层）的网格应该呈深蓝色，除了在不连续弱透水层区域，这表示它们属于 **Zone#2** 的渗透系数。
现在要返回到模型的各层的平面图：
在左边的工具栏中点击**[View Layer]**，把鼠标放在横截面的第一层，并单击左键。

三、给定河流边界条件

仔细观察地图，会发现 **Waterloo River** 在模型区域内沿着南部流动（用浅蓝色显示）。下面的步骤是用来描述怎样对模型的顶层设定河流边界条件。
在主菜单中选择 **Boundaries/River**， 就进入河流输入界面了。
在左边的工具栏中点击**[Assign>]Line**
从网格的西南面开始，以地图为引导，沿着河流点击左键，使之成为数字化的网格。当到达东南面的边界时，在该线的终点**右击**鼠标。此时，沿着 Waterloo River 的网格就会显示粉红色，同时会弹出一个 **River -[Assign Line]**的窗口（如下图所示）。它会提示一些有关这条河流的相关信息。
通常，河流边界条件还需要河床的水力传导系数。但是每个网格的水力传导系数有赖于河流穿过每个网格的长度和宽度。因此，在类似这样的模型中，随着网格的大小不同，水力传导系数也会因此而改变。
为了适应这种情况，Visual MODFLOW 提供在该线的起点和终点分别输入河流实际的物理参数（长和宽），然后根据标准公式，为每个网格计算出合适的水力传导系数。
为河流的边界条件输入以下信息：

Description: Waterloo River

选择 ☑ **Assign to appropriate layer**

选择 ☑ **Use default conductance formula**

选择 ☑ **Linear gradient**

注意当选中 **Linear gradient** 时，会在该窗口中出现两张表格——**Start Point**（起点）和 **End Point**（终点），如图 37 所示：
在 **Start Point** 表格中，输入：

Stop time (day): 7300
River Stage elevation (m): 16.0
River Bottom elevation (m): 15.5
Riverbed Thickness (m): 0.1
Riverbed Kz (m/sec): 1e-4
River Width (m): 25

在 **End Point** 表格中，输入：

Stop time (day): 7300

River Stage elevation (m): 15.5

River Bottom elevation (m): 15.0

Riverbed Thickness (m): 0.1

Riverbed Kz (m/sec): 1e-4

River Width (m): 25

单击**[OK]**确定。

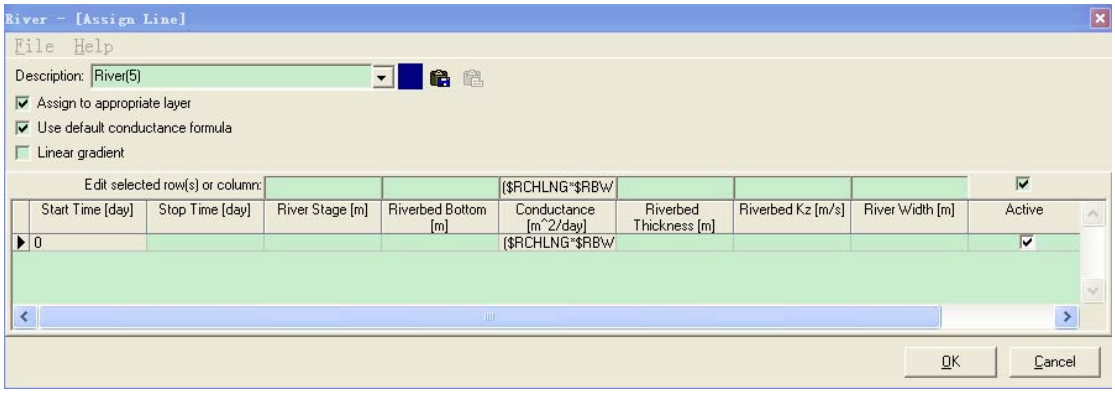


图 37

当河流的边界条件确定后，河流的网格会变成深蓝色，如图 38 所示：

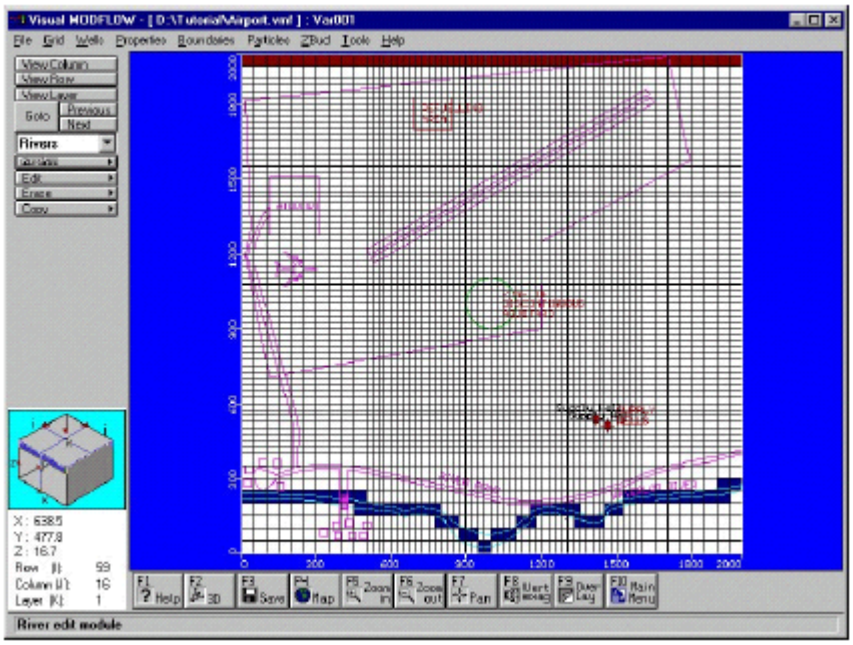


图 38

第六部分：质点示踪

质点示踪用来确定地下水质点从一已知点出发后的最优流动路径。在这个部分，将会指导你使用向前质点示踪法来确定最优的污染物运移通道所必须的步骤。

在主菜单中选择 **Particles**，

会出现保存边界资料的对话框，点击**[YES]**。

此时就会出现 **Particles** 的输入界面，在界面的左边有各种输入质点信息的选项。在这个模型中，要求在加油站附近指定一行质点，用来确定这个地区的污染物进入地下水后，将向哪里运移。

第一步是再一次放大加油站地区：

单击**[F5-Zoom in]** 把鼠标移到加油站的左上角，并单击左键。然后在加油站区拉出一个框，再单击左键关闭放大窗口。

单击**[Add>]Add Line** 在第一层中增加一排质点。

把鼠标移到加油站区左边界中点处，并点击左键；在加油站区右边界中点处再点击左键，就出现一条直线。此时会弹出一个 **Line Particle** 的窗口，如图 39 所示：

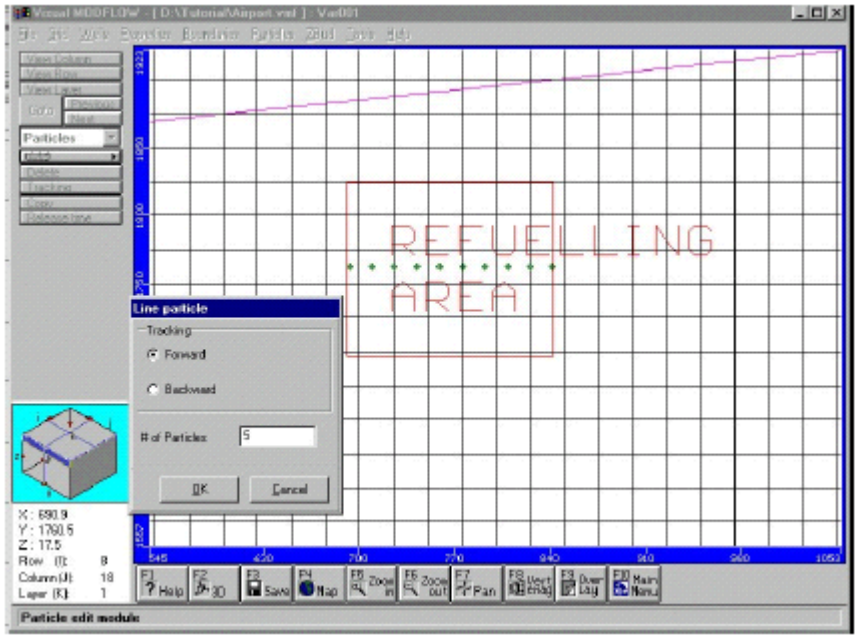


图 39

默认质点数目是 10。把这质点数目该为 **5**。

单击**[OK]**确定。

横穿加油站区域的一排绿色质点表示向前示踪质点。现在要返回到模型的全屏显示：

在底部的菜单栏中单击**[F6-Zoom out]**。

现在，这个使用指南的第一模块已经完成了，而且已经成功建立了一个三维的地下水流动和质点示踪模型。下一个模块用于建立溶质运移模型，并为溶质运移模型设定特征值和边界条件。

模块II：溶质运移模型

练习 II 提供了关于溶质运移模型的使用说明，包括模型的建立、参数赋值和边界条件设置。

如果你没有做练习－I，那么你可以在 Visual MODFLOW 安装目录的 **Tutorial** 文件夹下打开 **Airport2.vmf** 工程。

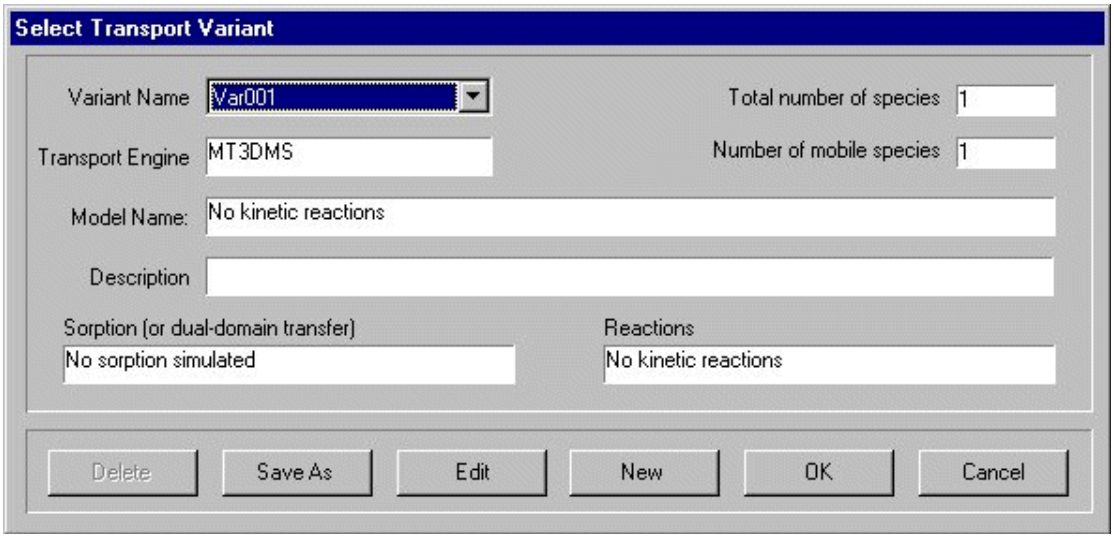
第七部分：建立运移模型

下面概述了完成一个简单溶质模型的必要步骤。为了达到指南的目的，重点在使用 MT3DMS 基本要素的设置。

打开底部菜单栏中的**[F10 - Main Menu]**，你将会被提示保存数据，

单击 **yes** 命令

单击 **Setup/Numeric Engines/Transport**，**Select Transport Variant** 窗口就会出现，如下图所示：



Visual MODFLOW 支持所有的最新版本的关于溶质运移模型的程序，包括 MT3DMS(v.4), MT3D99 和 RT3D(v.2.5)。另外，Visual MODFLOW 也可以继续支持 MT3D 的旧版本，包括 MT3D96 和 MT3D(v.1.5)。

注意：MT3DMS, MT3D99 and RT3D 支持多组分污染物运移计算，而 MT3D150、MT3D96 只能做单一组分运移计算。

为了支持所有可用到的关于多种溶质反应运移程序的选项，Visual MODFLOW 要求你建立关于溶质运移初始状态的脚本（概要数据，即：化学组分数、各化学组分名、初始浓度、衰退速率、分区系数，等等）。每个脚本对应于一种运移环境变量，而且对于一个给定的水流模型可不止一个脚本。

Visual MODFLOW 创建一个脚本的默认名为 **VAR001**。我们现在通过编辑该变量来建立运移模型。

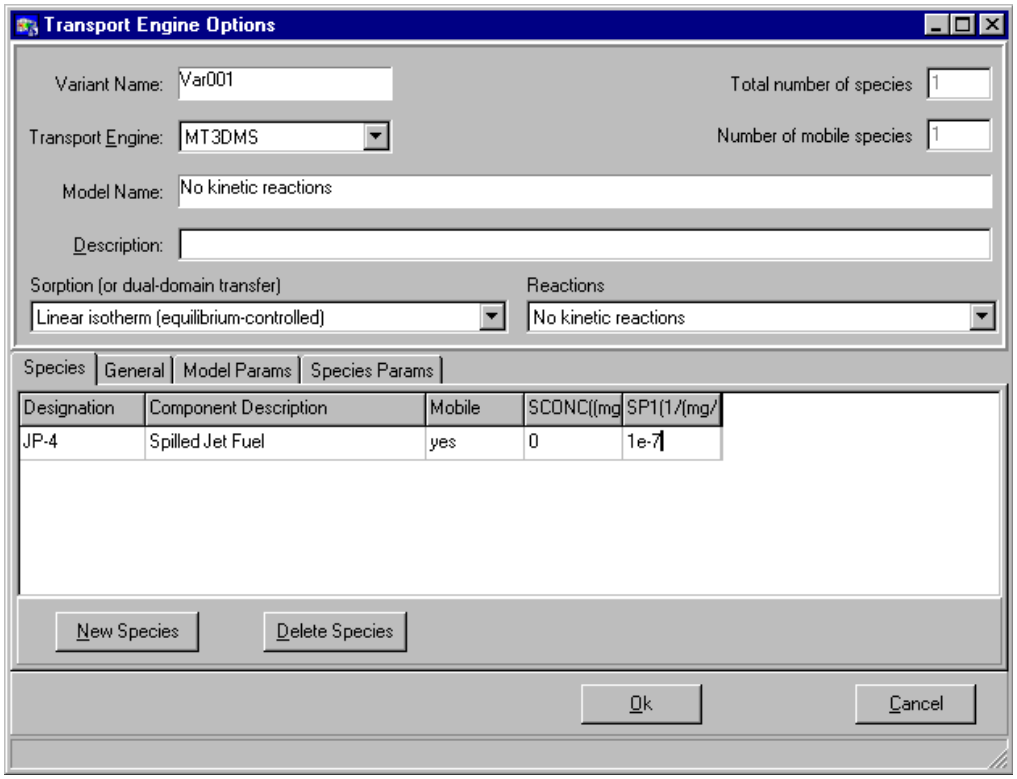
单击 **Select Transport Variant** 窗口中的**[Edit]**

弹出一条提示信息，告诉你改变当前环境变量将导致用户必须去编辑输入模型的运移变量。

2、单击**[Close]**

Transport Engine Options 窗口就会出现在你面前，你可以在窗口中修改默认

的设置（如下图）



在模型创建之初，运移环境默认使用 MT3DMS，没有吸附项和反应项。

在 **Sorption (or dual-domain transfer)** 字段，从下拉菜单中选择 **Linear Isotherm[equilibrium-controlled]。**

这里没有模拟污染物的衰退或降解过程，不用改动 **Reactions** 的默认设置 **No kinetic reactions**。

在吸附和反应设置框的下面有四页表格，分别是：

Specis

General

Model Params

Specis Params

在 **Species** 表中，你将看到一个带着列标题的电子数据表视图。最后两列标的是 MODFLOW 变量的名字。把鼠标的光标放在列标签上，就可以看到该变量的详细说明。此模型中模拟的化学组分是 JP-4。Visual MODFLOW 允许使用被模拟组分的真实名称，这样容易在等值线图和曲线图中区分它们。

键入以下化学组分信息：

在 **Designation** 列中输入 **JP-4；**

在 **Component Description** 列中输入 **Spilled Jet Fuel**

在 **Mobile** 列中选择 **Yes**

在 **SCONC [mg/L]**列中输入 0；

在 **SP1 [1/(mg/L)]**列中输入 1e-7；

在电子数据表下方单击**[New Species]**按钮就可以增加一个新的组分

[New Species]

Conc002

在 **Designation** 列中输入 **TCE**

不过，此模型只模拟一种组分，即泄漏的喷气机的燃料。

在**[Delete Species]**中选择**[Yes]**删除 **TCE**

自此组分信息已经的设置完成，正如前面的图表所示。

这就完成了运移算法的建立，接下来可以退出 **Transport Engine Options** 窗口，点击**[OK]**。

一个 **Replace Variant** 窗口将会出现，在此窗口你可以进行重新初始化选择和保存你已经输入的变量设置，或者保存你的改变作为一个新的变量。在该指南中我们将替代以前对初始变量 **Var001** 的设置进行新的设置。

点击**[OK]**从而可以回到 Visual MODFLOW 的 **Main Menu**。

第八部分：溶质运移特性

在此例子中，被模拟的反应是一种溶解微粒（单一柴油机燃料的化合物 **JP-4**）的线形均衡吸附作用。但是，由于所处理问题的复杂性，对于在模型中的每个溶解微粒模型需要有一些不同的区关于不同的吸附和反应特性（分解系数，衰退系数和生长系数）。

在 Visual MODFLOW 中，运移模型的特性和步骤可以通过使用曾经在水流模型特性中使用的相同类型的绘图工具进行赋值。

检查吸附作用参数

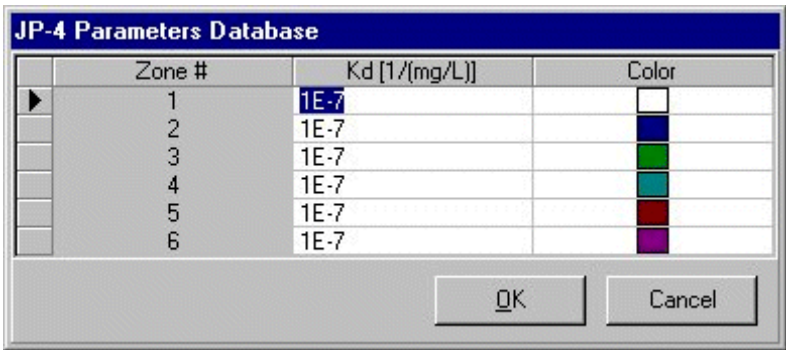
不必修改在运移模型建立中定义的分解系数的值，但是要检查吸附作用的参数值如下所示：

点击 Visual MODFLOW 的主菜单 **Main Menu** 中的 **input**

点击顶菜单栏中的 **Properties/Species Parameters**

点击左工具栏中的**[Database]**

在 **JP-4 Parameters Database** 窗口中（如下图所示）默认的分解系数(**Kd = 1.0e-7** L/mg)在



运移数量化算法中被详细说明。其中分别有六个区被创建，每层分别对应一个。

修改每个区的 Kd 值从而适应各向异性土壤的特性和整个模型区的反应。但是，在此例子中将其简单化并且在模型的每层使用统一的分解系数。

点击**[OK]**完成现有的设置。

弥散系数的赋值

以下详细说明模型的弥散特性。

点击顶部菜单栏中的 **Properties/Dispersion**，是否保存你的数据。

点击**[Yes]**

Visual MODFLOW program 自动地将一系列默认值赋值给每个弥散变量。下列表

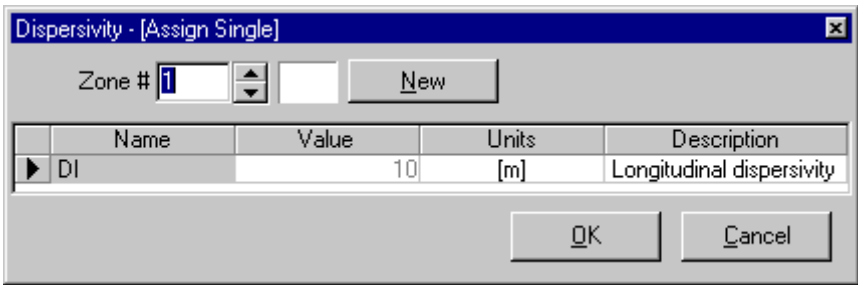
格概括了这些值。

Longitudinal Dispersivity	**10**
Horizontal to Longitudinal Ratio	**.1**
Vertical to Longitudinal Ratio	**.01**
Molecular Diffusion Coefficient	**0**

对于纵向的弥散性的赋值通过使用左边工具栏中**[Assign>]**位置按钮

点击**[Assign>]/[Single]**，带有默认离散值的 **Dispersivity [Assign Single]**窗口显示。如果该地区弥散性在空间上是不同的，那么可以创建不同的网格单元区每个区包含唯一的弥散值。然而，在本例子中，在整个模型中使用相同的弥散值。

点击**[OK]**接受默认值



使用左边菜单栏的**[Layer Options]**按钮可以修改水平或者垂向弥散率或者分子扩散值。

MT3D 中是一层一层将弥散率进行定义的，而不是逐个单元定义的。

在此例子中，不用修改默认的弥散率。

点击**[OK]**接受默认值。

第九部分：运移边界条件

在此节中将对污染源的位置和浓度进行定义。在补给燃料区指定污染源，即作为一个 Recharge Concentration 补给浓度对污染源有加速渗透的作用。

点击顶部菜单栏中的 **Boundaries/ Recharge Concentration**，提示你保存数据，点击**[Yes]**。

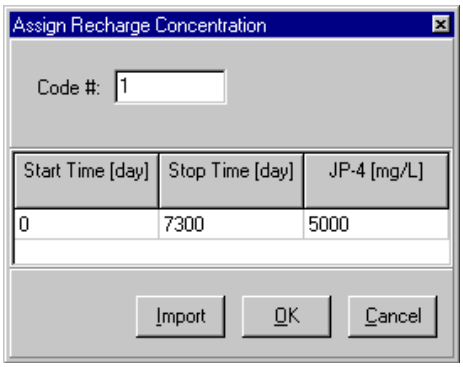
确定显示的是第一层。在补给燃料区的深蓝色单元格表示的是#2 补给区的位置。在 Recharge Concentration 的输入屏幕自动显示出不同含水层的补给区从而有助于在合时的区内对补给浓度进行赋值。

再次放大补给燃料所在区。点击**[F5 - Zoom In]** 并在补给燃料区内拉伸放大的窗口。

接下来，在补给区将浓度值赋值给模型的天然补给输入。

点击左菜单栏中的**[Assign >] Polygon**。

在补给燃料区周围移动鼠标，在角处单击鼠标左键，然后单击右键关闭多边形框。该区变成粉色，**Assign Recharge Concentration** 窗口提示进行以下输入：



Code #: 1

Stop Time (day): 7300

JP-4 (mg/L): 5000

点击**[OK]**接受这些补给浓度的值。

点击**[F6 - Zoom Out]**返回到全区模型的显示。

第十部分：添加观测井

最后一步，在运行模型之前，将三个观测井添加到模型中去，从而监视补给燃料区内所选的递减区内的 JP-4 喷气机燃料浓度。在补给燃料作用开始后不久，安装观测井一(OW1)在补给燃料区内的递减区内。两年后当观测井一(OW1)中的 JP-4 浓度提高的时，再安装另外两个观测井(OW2 和 OW3)。

个别地增加一些浓度观测井，通过使用左手边菜单中的菜单栏选项，或者输入以文件的格式输入井的值，这些文件的格式可以是 ASCII (.TXT) 文件, Excel (.XLS)文件, ESRI (.SHP)文件, 或者 MS Access (.MDB)文件。在本节中，是从一个 Excel 表格中输入浓度观测井的值，如下表所示：

Concentration wells

	A	B	C	D	E	F	G
1	Well Name	X-coordinate	Y-coordinate	Screen-ID	Screen Elevation	Observation Time	JP-4-Conc
2	OW1	760	1640	A	16.5	0	0
3	OW1	760	1640	A	16.5	730	80
4	OW1	760	1640	A	16.5	1460	280
5	OW1	760	1640	A	16.5	2190	750
6	OW1	760	1640	A	16.5	2920	1100
7	OW1	760	1640	A	16.5	3650	1250
8	OW2	810	1415	A	16.5	730	0
9	OW2	810	1415	A	16.5	1460	1
10	OW2	810	1415	A	16.5	2190	5
11	OW2	810	1415	A	16.5	2920	20
12	OW2	810	1415	A	16.5	3650	60
13	OW3	910	1140	A	16.5	730	0
14	OW3	910	1140	A	16.5	1460	0
15	OW3	910	1140	A	16.5	2190	0
16	OW3	910	1140	A	16.5	2920	0
17	OW3	910	1140	A	16.5	3650	0.5
18							

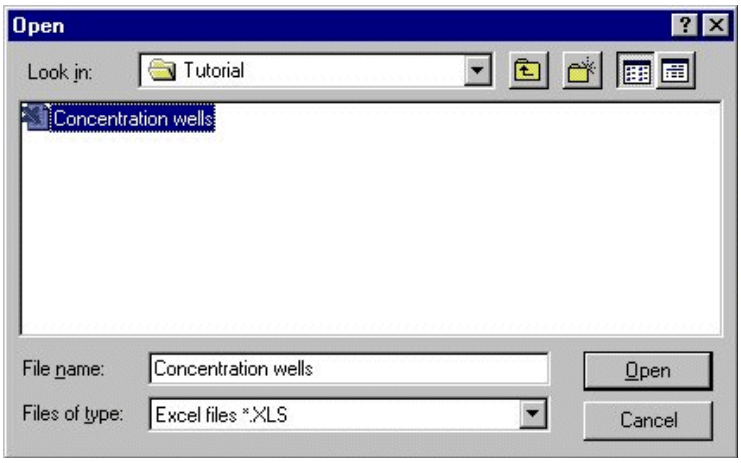
Concentration Wells.XLS

点击顶部菜单栏中的 **Wells/Conc. Observation Wells** 保存数据，然后点击 **[Yes]**。

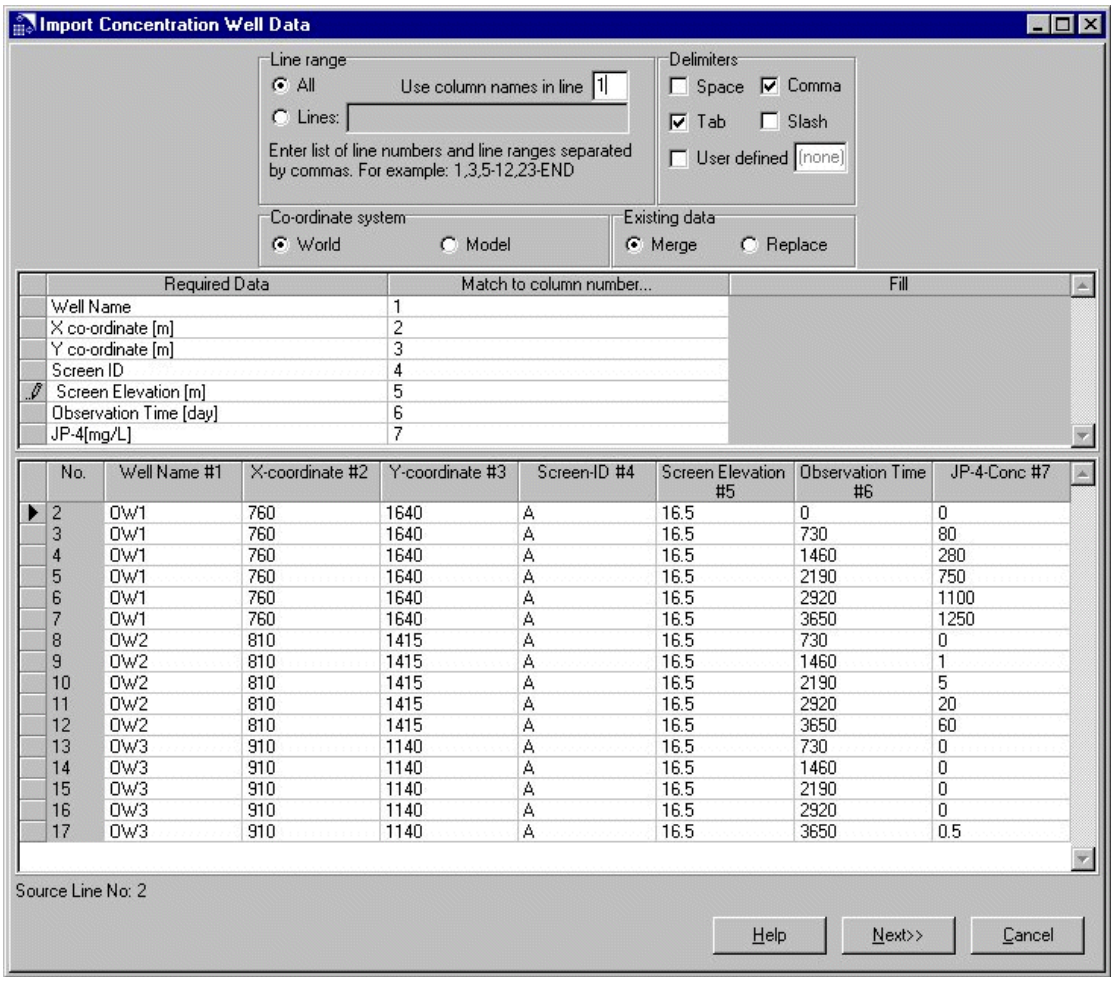
点击左边菜单栏中的**[Import Obs.]**

Open 输入窗口如下所示，在文件 **Files of type** 中输入 **Excelfiles *.XLS**,浏览数

据文件 **Concentration wells.XLS**.



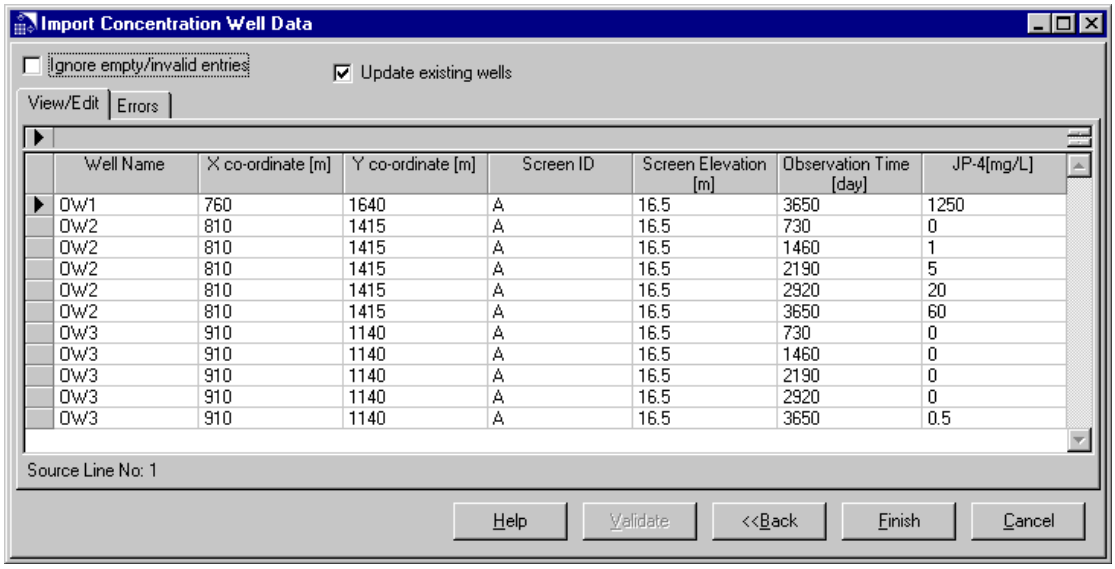
点击**[Open]**打开以下窗口：



在此窗口中，在 **Use column names in line** 内输入 1，修改 **Match to Column number** 框架中的个数使得：**Column# 1** 和 **Well Name** 栏相匹配；**Column# 2** 与 **X-coordinate** 匹配；**Column# 3** 与 **Y-coordinate** 匹配；**Column# 4** 与 **Screen ID** 匹配; **Column# 5** 与 **Screen Elevation** 相匹配 field; **Column# 6** 与 **Observation Time** 相匹配; **Column# 7** 与

JP-4-Conc. 相匹配，如上表所示：

点击**[Next],**出现以下窗口：



Well Name	X co-ordinate [m]	Y co-ordinate [m]	Screen ID	Screen Elevation [m]	Observation Time [day]	JP-4[mg/L]
OW1	760	1640	A	16.5	3650	1250
OW2	810	1415	A	16.5	730	0
OW2	810	1415	A	16.5	1460	1
OW2	810	1415	A	16.5	2190	5
OW2	810	1415	A	16.5	2920	20
OW2	810	1415	A	16.5	3650	60
OW3	910	1140	A	16.5	730	0
OW3	910	1140	A	16.5	1460	0
OW3	910	1140	A	16.5	2190	0
OW3	910	1140	A	16.5	2920	0
OW3	910	1140	A	16.5	3650	0.5

点击**[Finish],** 完成了井的输入。

完成浓度观测井的输入后，点击底部菜单栏中的**[F6-Zoom Out]**按钮刷新屏幕。

选择底部菜单栏中的**[F10 - Main Menu]**，选择**[Yes]**保存数据，开始下一个模型的建立。

模块III: Visual MODFLOW的运行

在模块 III 中，主要介绍了一些在 Visual MODFLOW 使用到的关于 MODFLOW, MODPATH 和 MT3D 的运行选项。

如果你跳过了 Module I & II, 你可以从打开在 Visual MODFLOW 安装目录的 **Tutorial** 文件夹下的 **Airport3.vmf** 工程开始。

继续运行选项，

点击主菜单选项中的**[Run]**，进入到运行选项的屏幕下，就会出现一个窗口让你去选择进入 **Steady State** 还是 **Transient** 水流模型。

选择 **Steady State**

点击 **[OK]**

第十一部分：MODFLOW的运行选项

运行模型之前，对 MODFLOW, MODPATH and MT3D 的默认运行时间进行设置。运行部分要求建立参数估计(PEST)模型。

MODFLOW 运行—时间选项的默认运行时间的设置包括以下几项：

- 在各应力期（只对非稳定流模型有效）中的**时间段 times—steps**
- **初始水头 initial heads** 估计
- **结果 solver** 选项和设置
- **补给项 recharge** 设置
- **各层 layers** 类型
- 疏干单元 **Rewetting** 的设置
- **Anisotropy 各项异性**的设置
- **Output Control** 设置

MODFLOW 计算方法选项

首先对 MODFLOW.的计算方法选项进行检查。

点击顶部菜单栏中 **MODFLOW-2000/Solver**

默认计算方法是 **WHS Solver**, 由 Waterloo Hydrogeologic Inc 所有开发的。单击 next 按钮到所需计算方法的缩写中相关联的计算方法参数就显示出来，选择不同的计算方法选项。



Visual MODFLOW v.4.0 能过使用新的 SAMG 计算方法。在中等模型中该计算方法要比传统的PCG 方法要快3 到11 倍, 在包含一百万甚至更多单元的大模型中会更快。

在本例中，使用的是 **WHS Solver** 来计算水流结果。

点击**[OK]** 选择 WHS Solver 计算方法。

疏干单元回灌选项

在水流模型中当水位低于单元底板时，单元疏干的现象非常普遍。疏干单元就变成不活动单元，并且不能够被回灌，除非该回灌单元是活动的。在一个新的模型中，回灌单元默认是不活动的，因此必须将单元变成活动的才能回灌，如下所示：

点击 **MODFLOW/Rewetting**，该 **Dry Cell Wetting Options** 窗口出现。.

选择 **Activate cell wetting**

这个模型的在 **Dry Cell WettingOptions** 中的其他默认值(如右图所示)的设置是非常好的。窗口底部增加了两个非标准选项。实例中使用的是 WinPEST 的参数估计程序，它在迭带过程中进行的自动调参会使有观测资料的一些单元疏干，尤其会使参数估计变得混乱，因为 MODFLOW 对疏干单元赋值的计算水头值是 1e-30。但是，Visual MODFLOW 的疏干单元的水头赋值是该单元的底板高程。



Visual MODFLOW 在模型底层中提供了避免单元疏干的选项。

点击 **[OK]。**

在水流模型中有其它一些可以使用的 MODFLOW 运行选项，如果有时间可以对这里没有提到的选项进行研究。

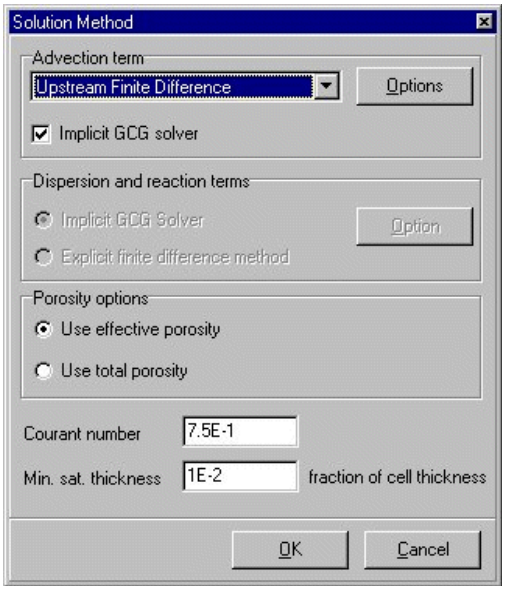
第十二部分：MT3DMS 的运行选项

本节主要内容是关于水平对流方法的选择，计算方法的设置和溶质运移模型结果的输出。

MT3DMS 计算方法的设置

点击顶部菜单栏中的 **MT3DMS/Solution Method**

一个 **Solution Method** 窗口就会出现，如下图所示：



在 **Advection term** 图框中，使用 the Generalized

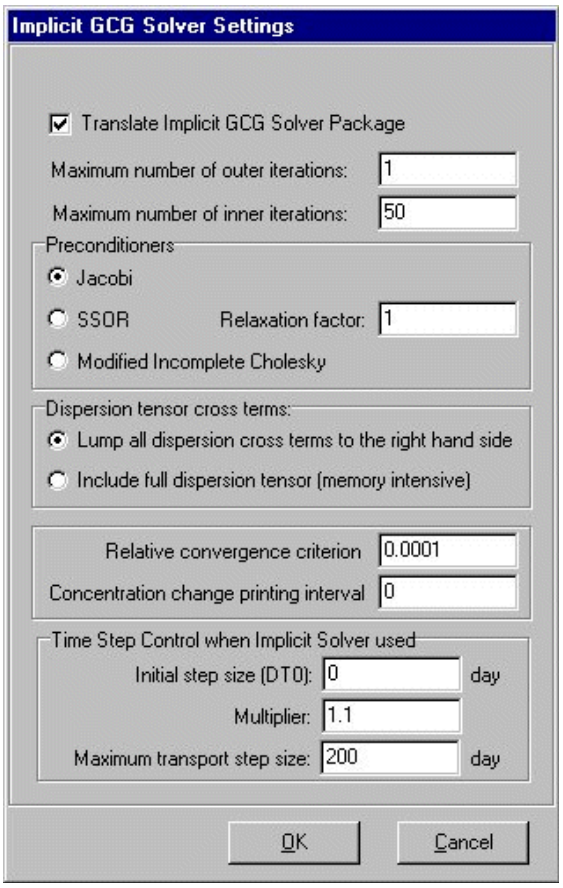
Conjugate Gradient (GCG) 计算方法中的 **UpstreamFinite Difference** 计算方法 Upstream FiniteDifference 方法为溶质运移模型在一个相对较短应力期中提供了相对稳定可靠的计算方法。GCG 计算方法是使用一种内迭代的方法来计算有限差分方程，该方法比外迭代方法更快。

点击 **Advection term** 图框中，选择 **Upstream Finite Difference。**

选择 **Implicit GCG Solver** 项

点击 **Options]**

Implicit GCG Solver Settings 窗口就会出现如下图所示：



使用 the Upstream Finite Difference 方法和 and

内部 GCG 计算方法能够进行非常有效的计算，实例模型模拟了一个应力期为 20 年的模型。为了提高计算速度，可以使用非线性时间步骤。

在窗口底部输入一下信息：

Multiplier: 1.1

Maximum transport step size: 200

点击**[OK]**

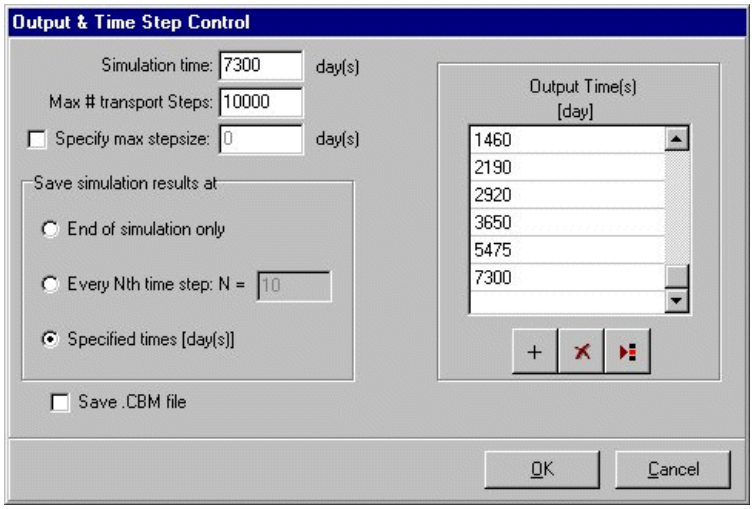
返回到 **Solution Method** 窗口

点击**[OK]**

MT3DMS 的输出时间

接下来，在溶质运移模型结果中定义输出时间。

点击顶部菜单栏中的 **MT3DMS/Output/Time steps** ，一个 **Output & Time Step Control** 窗口就会出现，



MT3D 输出控制的默认输出设置是作为唯一的浓度数值保存在 **End of simulation only**.中。在模型输出结果中需要对详细说明的时间进行定义。

输入并核对以下输入：

Simulation time: 7300 days

Max # of transport steps: 10000

选择 **Specified times [days(s)]**

在 **Output Time(s)** 列表中,输入以下值：

730

1460

2190

2920

3650

5475

7300

点击 **[OK]** 同意输出和时间阶段控制参数设置。

以上是关于 MT3D 运行选项的操作。还有很多其他的运行设置，在这里就一一作介绍了，如果有机会，可以对其他用到的选项进行研究。

第十三部分：模型的运行

由于模型长度的原因，所以还不能运行模型。要运行模型，进行以下操作：

点击主菜单中的 **Run** 一个 **Engines to Run** 窗口就会出现，该窗口列举了一些可以用到的数字的计算方法 (如下表所示)。

值得注意的是：在 Visual MODFLOW 的演示版本中，数字化计算方法如果不能被用，该模型就不能够运行。点击**[Cancel]**，在底部菜单栏中选择**[F10 - Main Menu]**按钮。接下来进行 Module IV 步骤的操作，观察在 46 页的输出。

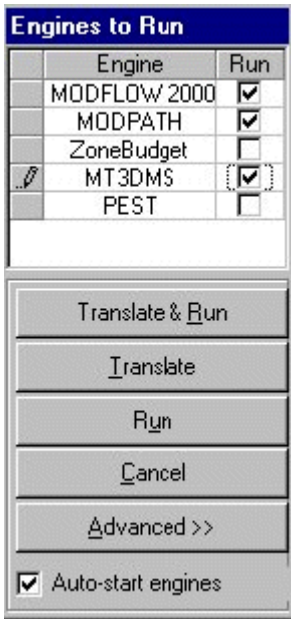
水流模型运行相对要快些，溶质运移模型的运行可能要花 1 到 5 分钟，主要是与处理器的速度和计算机的 RAM 有关。

如果你正在使用此指南进行入门训练，你可以选择运行你所创建模型的模拟或者不运行模型继续阅读指南。如果你没有时间运行模拟，示例中提供了输出数据文件。

为了不运行模型而继续阅读指南，点击[cancel]并在底部的工具条中选择[F10-MainMenu]，然后从第四章开始进行-输出可视化在 46 页。

按照以下的说明运行模拟：

在“Engine to Run”窗口下选择以下选项：



_ _ MODFLOW-2000

_ _ MODPATH

_ _ MT3DMS

_ [Translate & Run]

可视化 MODFLOW 将把可视化 MODFLOW 数据组翻译成所选择的数值引擎需要的标准数据然后在标有“**VM Engines**”的独立窗口中运行模拟。

模块IV：输出可视化

在本章中，你将会看到你的模型的结果。作为可视化MODFLOW的演示安装，不允许进行数值引擎，打开位于可视化MODFLOW安装目录下**Tutorial**文件夹下的**Airport4.vmf**。

由**Main Menu**的顶部菜单条选择**Output**

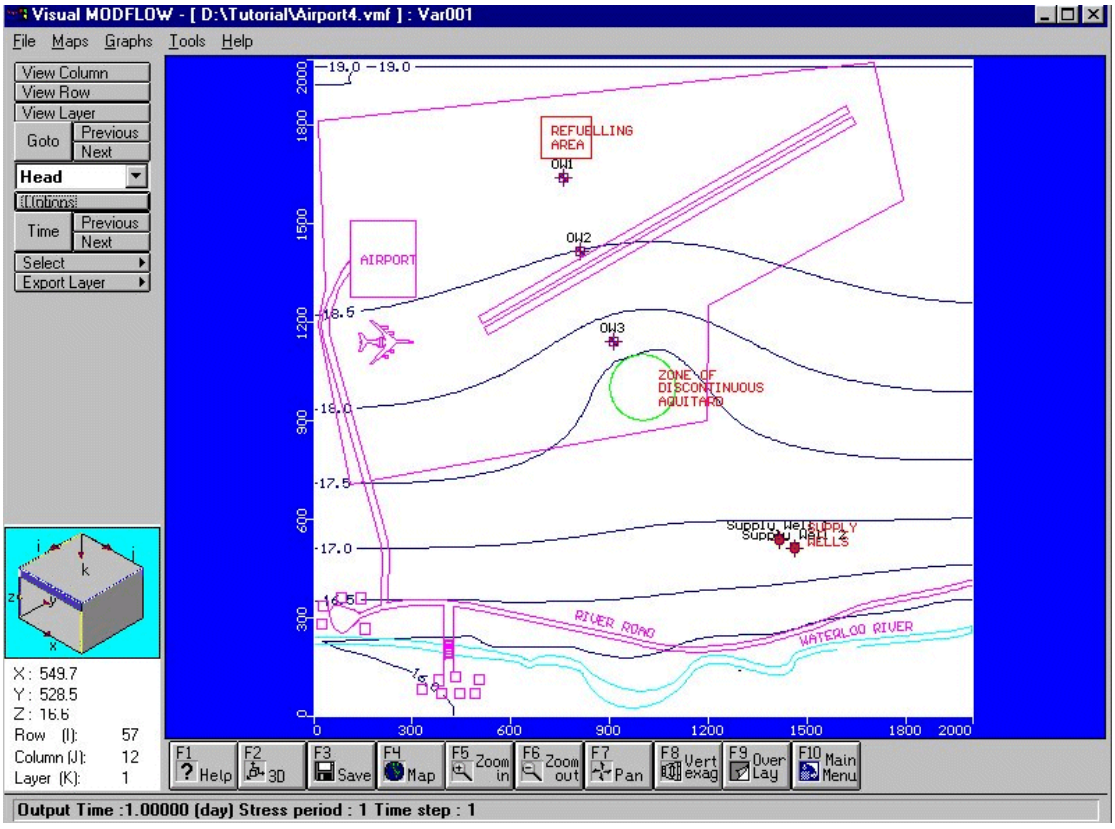
这样可以转到可视化MODFLOW的输出部分，在这里你可以看到，打印，输出模拟结果。本章提供了以各种图表的形式显示，解译，定做以及打印地下水径流，迹线，污染物运移模型结果的说明。

地图：等值线，彩图，迹线，速度矢量，校正气泡图

曲线图：校正散点图，校正频率直方图，时间序列图，量平衡图，区域预算图

进入输出部分以前，可视化MODFLOW将自动打开可用的所有的输出时间的水头（.HDS）和降深（.DDN）输出文件。一旦这些数据文件被打开，OUTPUT窗口将会出现。

输出部分第一次打开时，可视化MODFLOW将会显示出场地地图以及当前层，行或列的等水位线（见下图）。当输出显示设置改变时，可视化MODFLOW将一直检索到最近的输出显示设置。



第十四部分：等水位线

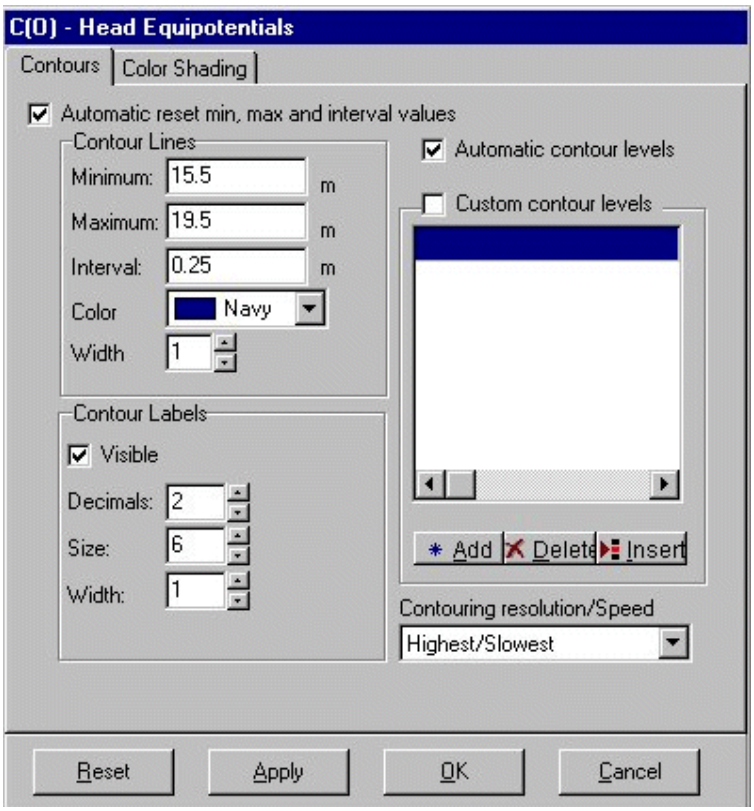
默认的，绘制等值线的算法自动选择最小值，最大值，间隔值。然而，如果你不喜欢默认的等值线间距或线的颜色，你可以改变等值线图的设置。为了进入等水位线选项

在左侧工具条中选择[Options]

C(O) - Head Equipotentials 窗口出现

输入以下值

Interval: 0.25

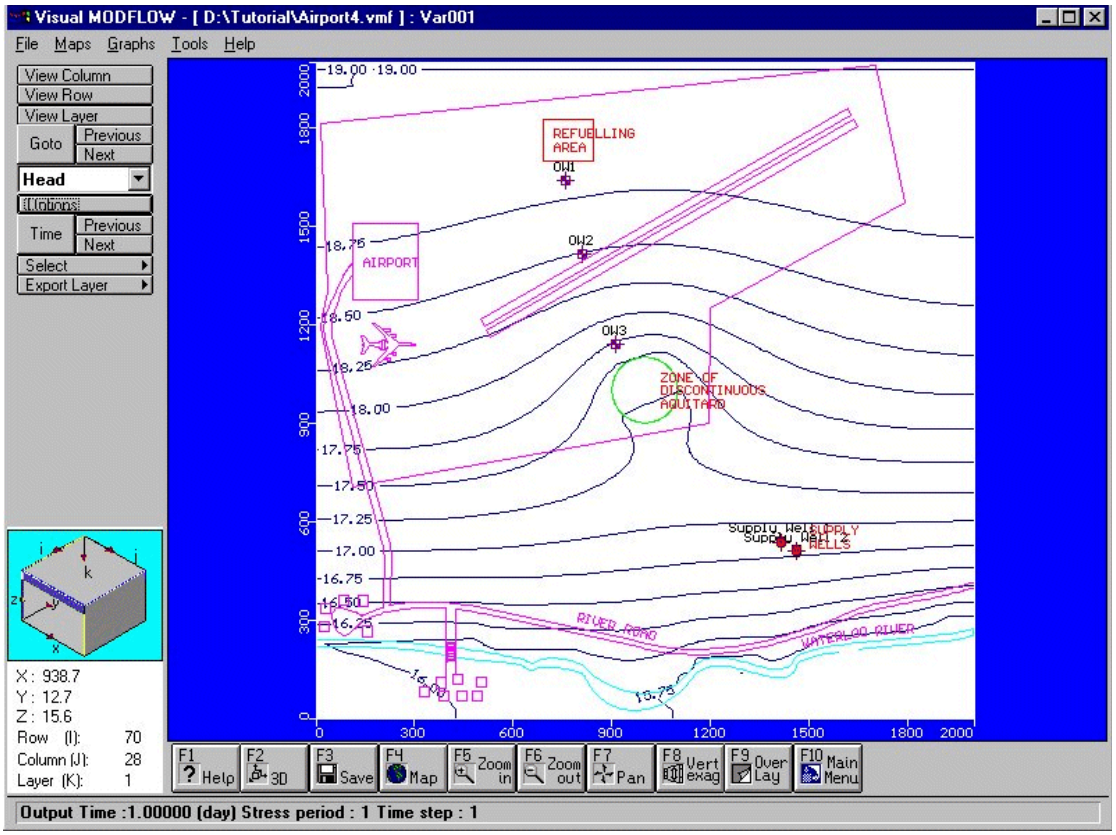


Decimals: 2

你也可以通过点击标识为选择 **Contouring resolution/Speed** 的下拉菜单改变等值线绘制的速度和分辨率。对于这个练习，**Highest/Slowest** 的默认设置为 5。

点击**[OK]**接受这些设置

等水位线图应该如下图所示：

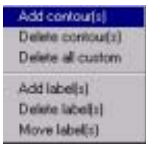


所有的输出等值线显示窗口在模型区右击都有附加的等值线显示选项。这样将出现一个快捷菜单，具有增加，删除和移动等值线与标识选项。

增加等值线

为了在所选的地方增加一些等值线：

在模型区域右击



点击 **Add contour(s)**

在模型区域的任何地方左击鼠标指针，以在这个地方增加一条等水位线。

通过点击要求增加等值线的地方可以增加任何数目的等值线。

当结束增加等值线时，右击退出 **Add Contour** 模式

移动等值线标识

接下来你可以移动等值线标识

在模型区域右击

选择 **Move label(s)**

移动鼠标指针到任意等值线标识处，然后点击并拖拽标识到等值线上的一个新位置。

当结束移动等值线标识时，右击退出 **Move Label** 模式

接下来看一下场地的剖面

选择在左侧所谓工具条中选择**[View Column]**按钮并移动鼠标进入模型区域。通过点击鼠标左键选择模型区域中间附近的一列。

将发现每次改变视图等值线的最小值，最大值和间隔值都会重新设置，而常规的等值线值保持不变。最小值，最大值和间隔值重新设置是为了保证等值线对于当前行、

列或者层中的所有数据最佳化。然而，如果你希望在所有视图中保持相同的最大值，最小值何间隔值，在等值线选项窗口中可以将重置选项设为不活动。

删除常规等值线

为了删除常规等值线

在模型区域右击

选择 **Delete all custom**

显示水头彩图

返回模型的层视图

在左侧的工具条中点击**[View Layer]**

在模型剖面上点击第一层

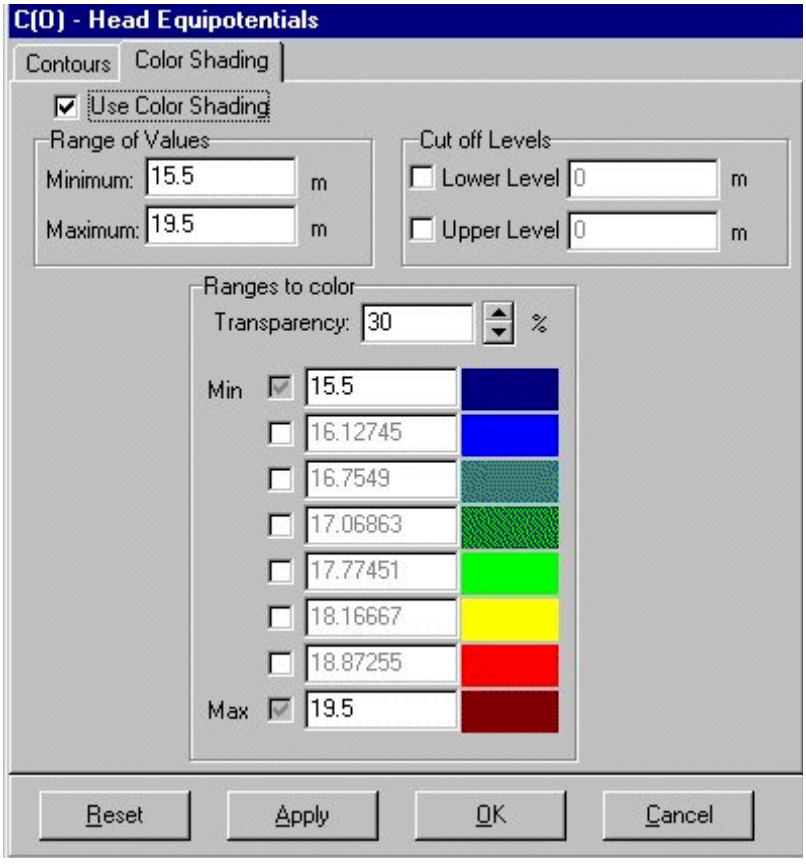
第一层的等值线图将会出现。为了显示第一层水头值的彩图

在左侧的工具条中选择**[Options]**

A **C(O) - Head Equipotentials** 等值线选项窗口出现

点击 **Color Shading** 标签

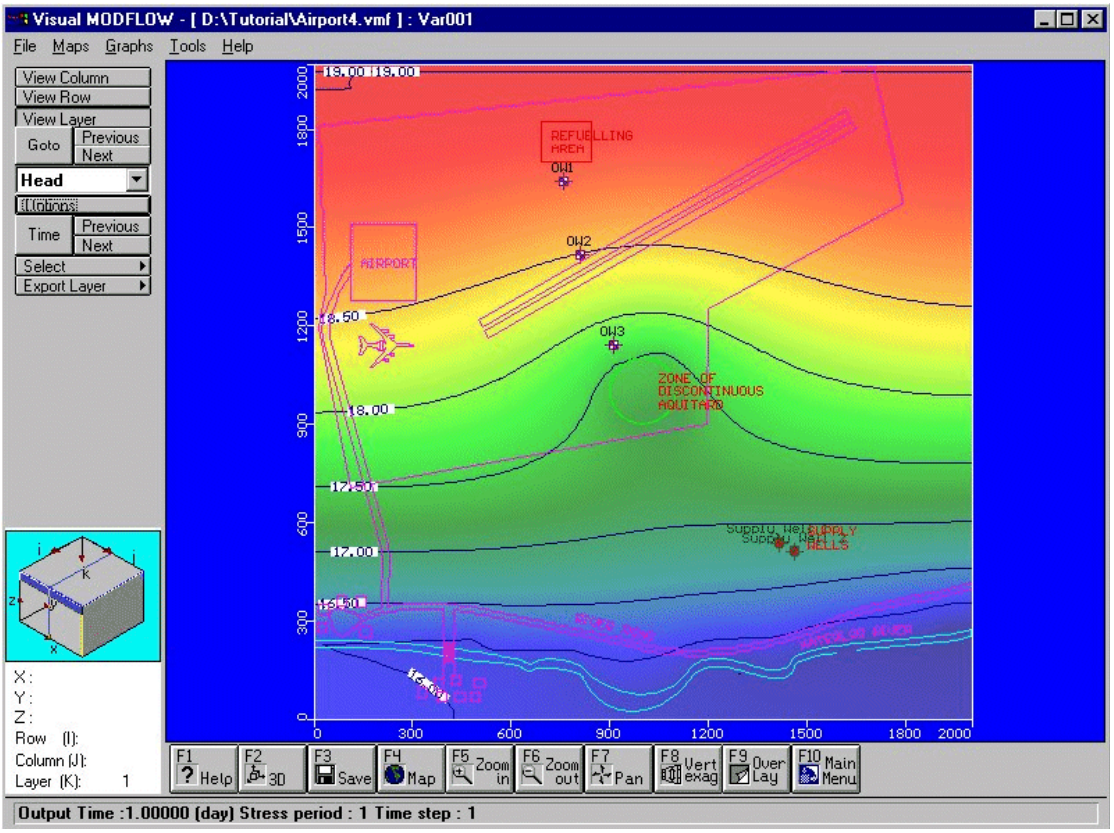
等值线选项窗口将如下所示：



选择 **Use Color Shading**

点击**[OK]**接受设置

模型顶层的等水头线彩图将会根据选择的默认颜色范围绘制。在下面的图中，注意彩图是半透明的，为了显示出下面的模型特征。



在进行这个练习以前因该关掉 color shading 选项以避免重新绘制彩图时需要较长的屏幕刷新时间。

在左边的工具条中选择**[Options]**

选择**[Reset]**以重新建立默认等值线设置

点击 **Color Shading** 标签

点掉 **Use Color Shading** 旁边的方格中的 v（对号）

点击**[OK]**

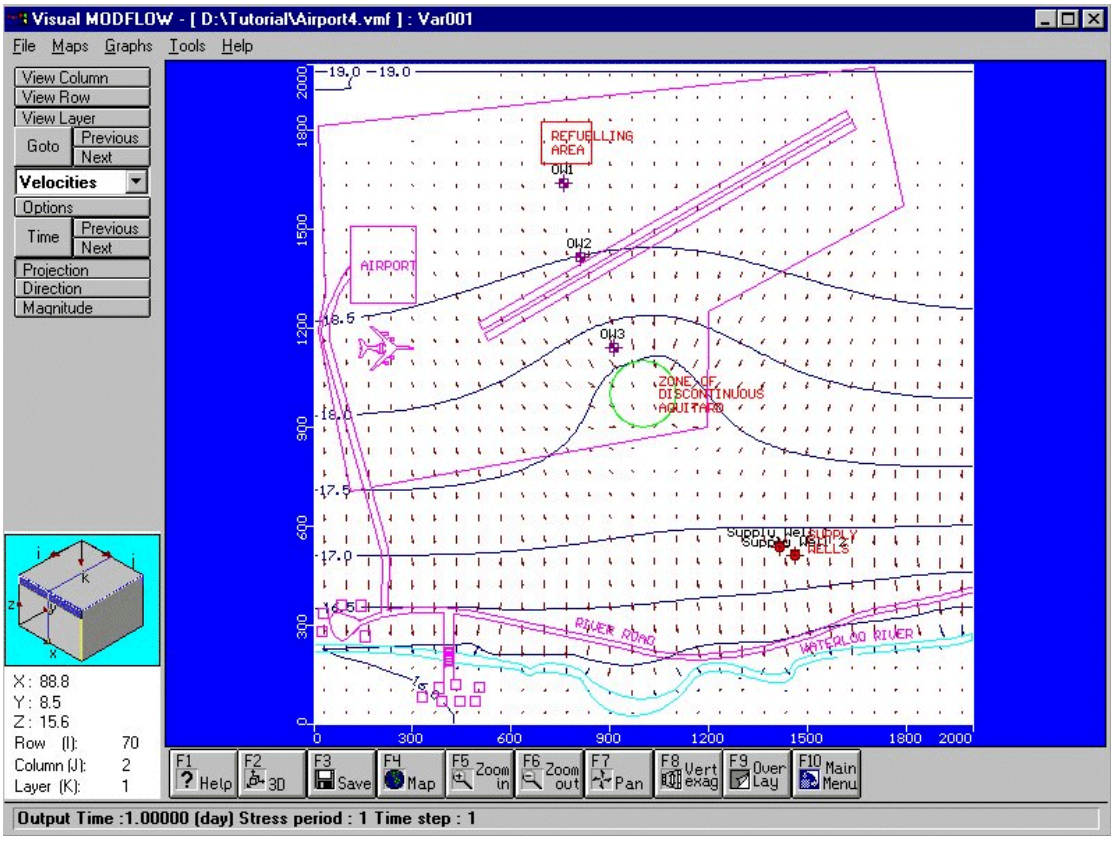
在可视化 MODFLOW4.0 中，用来反映分布数据的颜色阴影彩图的绘图工具和算法已经升级到包括丰富的 RGB 配色方案，并且允许彩图透明，以看到下面模型的特征。配色方案保持相同，但是颜色本身更亮，颜色之间的转化更平滑。

第十五部分：速度矢量

速度矢量是直观化水粒子经过流场时的速度和方向的一个很好的方法。为了使用这个工具：

在顶部菜单条中点击 **Maps/Velocities** 以观察速度矢量

速度矢量将将根据默认设置绘制，默认设置根据水流速度值绘制矢量的大小。



默认的速度矢量配色方案：红色向外（例如，由层面上看向上），蓝色向内（例如，由层面上看向下），绿色表示与平面平行（例如，由层面上看水平流动）。

速度矢量也可以用与速度大小没有关系得的有方向的箭头表示：

在左侧工具条中点击**[Direction]**

所有的箭头将绘制成同样大小，并简单的与水流方向一致。

在左侧菜单中选择**[Options]**

现在增加显示矢量的数目。

输入：**Vectors:40**（这样规定了一行中速度矢量的数目）

选择 **Autoscale**（自动调整速度矢量的大小）

选择 **Variable Scale**（防止速度矢量重叠）

点击**[OK]**接受新的速度矢量设置

为了看到场地的剖面，在左侧的工具条中选择**[View Column]**按钮，然后将鼠标移动到模型区域单击选择一列。

在左侧工具条中选择**[Projection]**

为了显示出不同的渗透系数分区，在下部的菜单条中选择**[F9 - Overlay]**按钮。**Overlay Control** 窗口出现，并带有可以开或关的一系列可用的重叠。

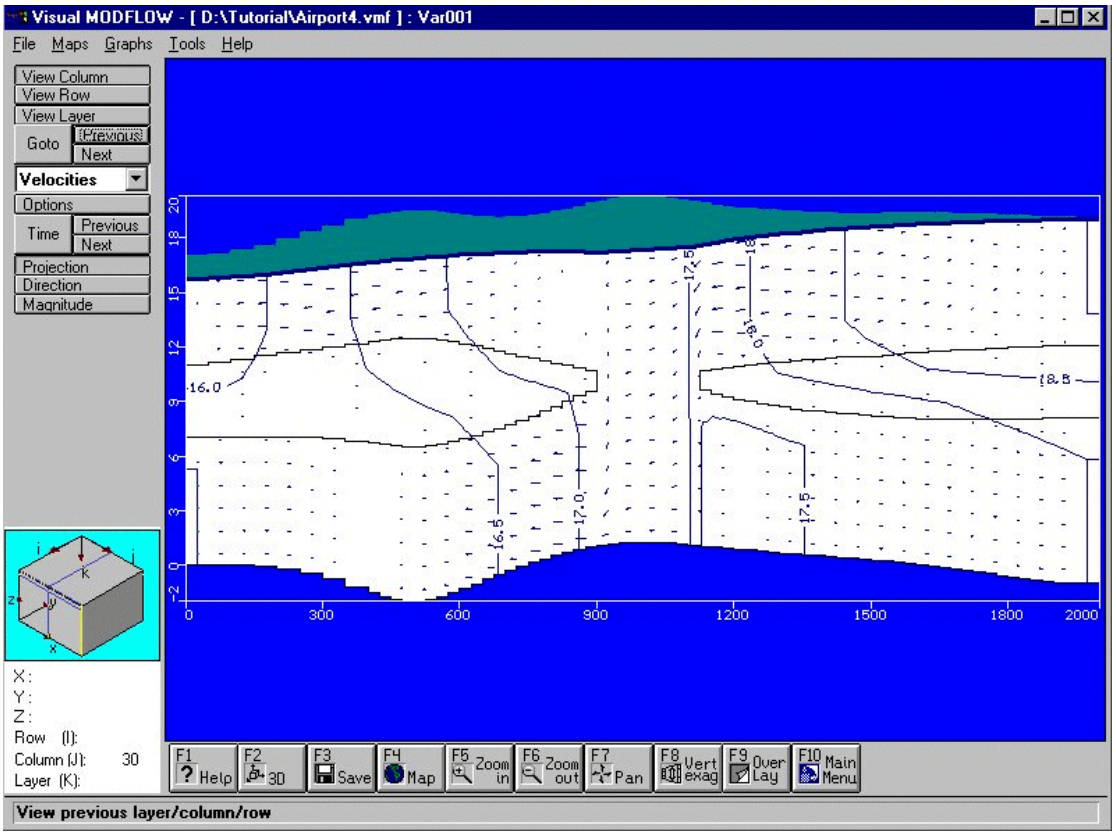
Overlay List Filter，并使用▼按钮选择 **Properties**

不选择 **List only visible overlays**

选择 **Prop(F) – Conductivities**

点击**[OK]**以显示具有渗透系数分层的剖面

结果应该与下图相似：



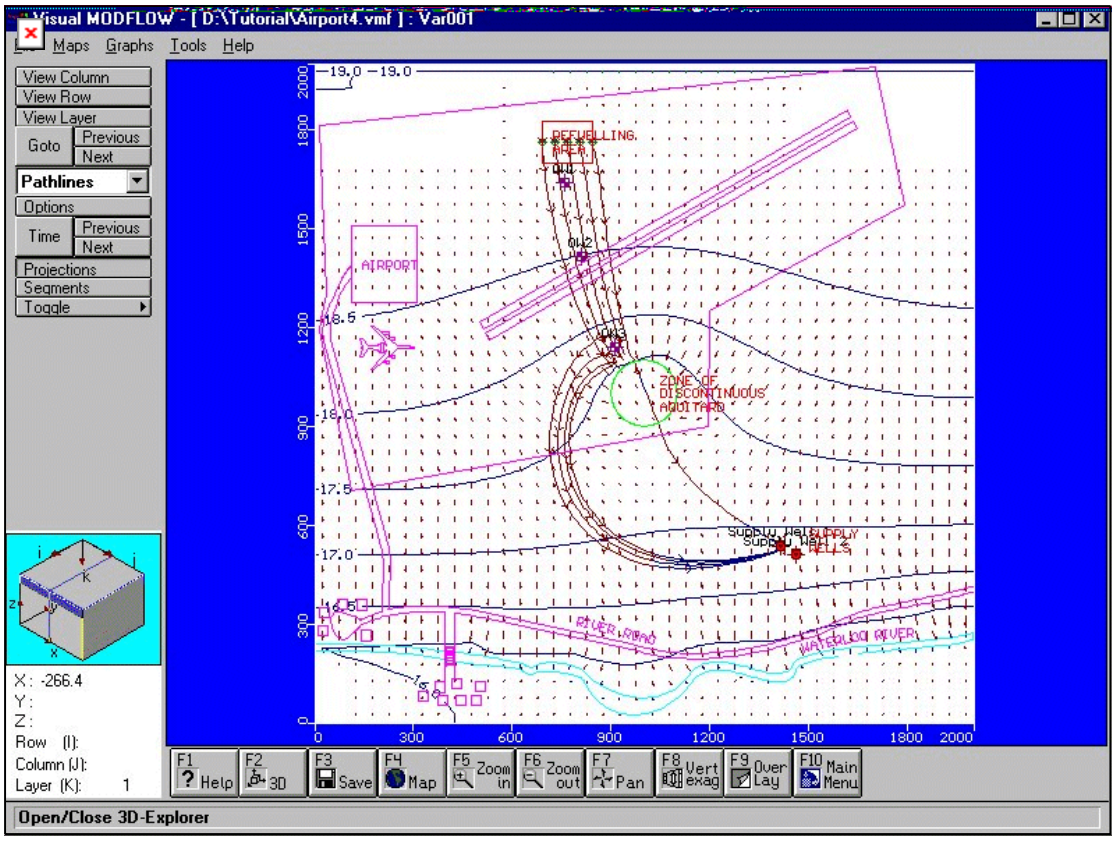
在左侧的工具条中选择**[View Layer]**按钮以返回模型的平面视图，然后在模型剖面上点击第一层。

第十六部分：迹线

回顾在输入部分我们在 Refueling Area 指定了 5 个向前示踪粒子。MODPATH 程序追踪这些粒子经过地下水系统的路径：

在顶部菜单条中选择 **Maps/Pathlines**

默认的窗口显示将由模型当前层绘制所有的迹线（如下图所示）



为了在输出显示中删除速度矢量，在底部菜单条中选择**[F9 - Overlay]**并选择**Show only visible overlays** 选项。Overlay 列表现在只包括当前显示的覆盖。

向下浏览列表（向中部）并选择 **Vel – Vectors**

点击**[OK]** 从输出显示中删除速度矢量

为了只显示当前层的迹线，在左侧的工具条中选择**[Segments]**。这样就只显示模型活动层中的迹线。

在左侧的工具条中用**[Next]**按钮继续显示模型的每一层以看到粒子迹线的位置。

选择**[Projections]**以再次看到所有迹线

注意到这些迹线有方向箭头，表示了水流方向。这些箭头也可以作为时间标志以决定一个粒子到达某一目的地的时间长度。为了确定每个时间标志的时间间隔，在左侧的工具条中选择**[Options]**

按钮，**Pathline Option** 窗口出现，如下所示：



在一些实例中，可能想要看到污染物在给定的时间内运移的多远。例如，想要知道在 7300 天内粒子运移的多远；

选择 **Time Related** 并输入值 7300

时间标识应该已选择 **Visible**

选择 **Regular Every** 并在 **day** 后输入 730

点击**[OK]**以看到 7300 天的与时间相关的迹线

注意到只有一个粒子在 20 年后到达了供水井，其余粒子没有到达井。

现在由剖面图中看粒子穿过模型中不同层的迹线。

在走侧工具条中选择**[View Column]**

在屏幕上移动指针，直到强光条位于不连续隔水层区域附近时，点击。

剖面图清晰的展示了上部含水层中水平运移以及通过隔水层的“洞”垂直向下到达下面含水层的迹线。

在左侧工具条中选择**[View Layer]**按钮以回到模型的平面视图，然后在模型剖面上点击第一层。

第十七部分：浓度等值线

在这一节中将会学到怎样显示污染物运移模拟结果。

在顶部菜单条中选择 **Maps/Contouring/Concentration**

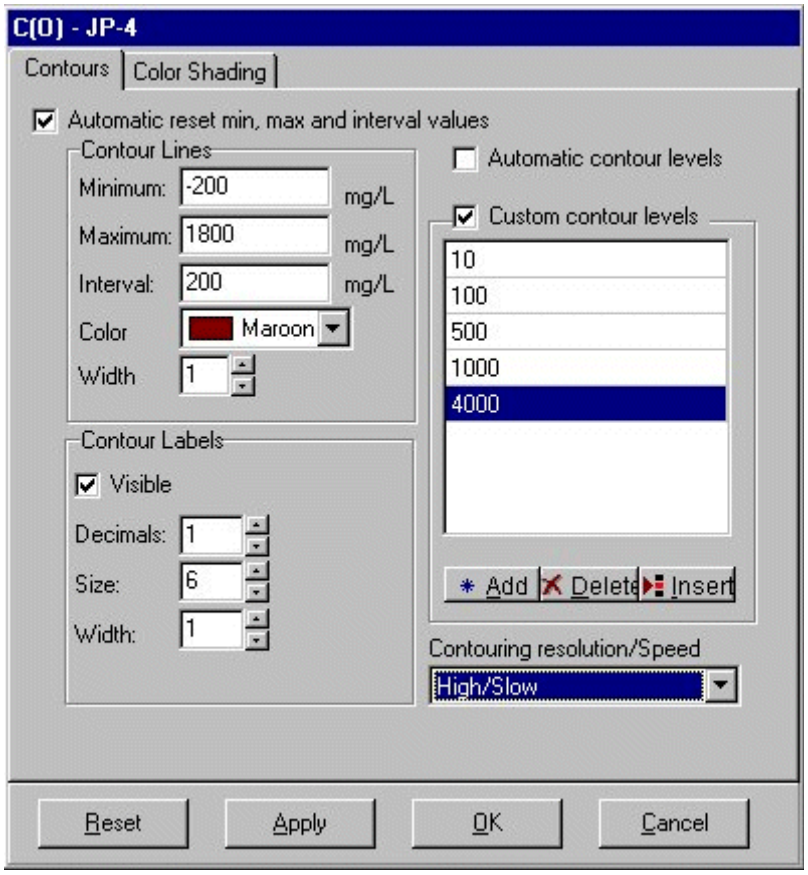
将绘出第一段运移输出时间内的浓度等值线（本例中第一段运移输出时间为 730 天）。

在模拟的早期，污染羽没有出现，没有运移到距离 Refuelling Area 很远的地方。然而，这个现象有些误导，因为浓度等值线是用可视化 MODFLOW 自动选择的正常范围绘制的。

绘制浓度等值线的一个更有效（普遍）的方法是以对数间隔绘制等值线。

在左侧工具条中选择**[Options]**按钮

Contour Options 窗口出现，如下图所示



注意到最小浓度值为-200。明显地，在自然环境中负的浓度值是不可能出现的。负的浓度值是污染物运移模型求解中数值弥散的结果。

不选择 **Automatic contour levels**（以删除自动等值线）

选择 **Custom contour levels**

在文本框中输入以下的常规等值线值：

10

100

500

1000

4000

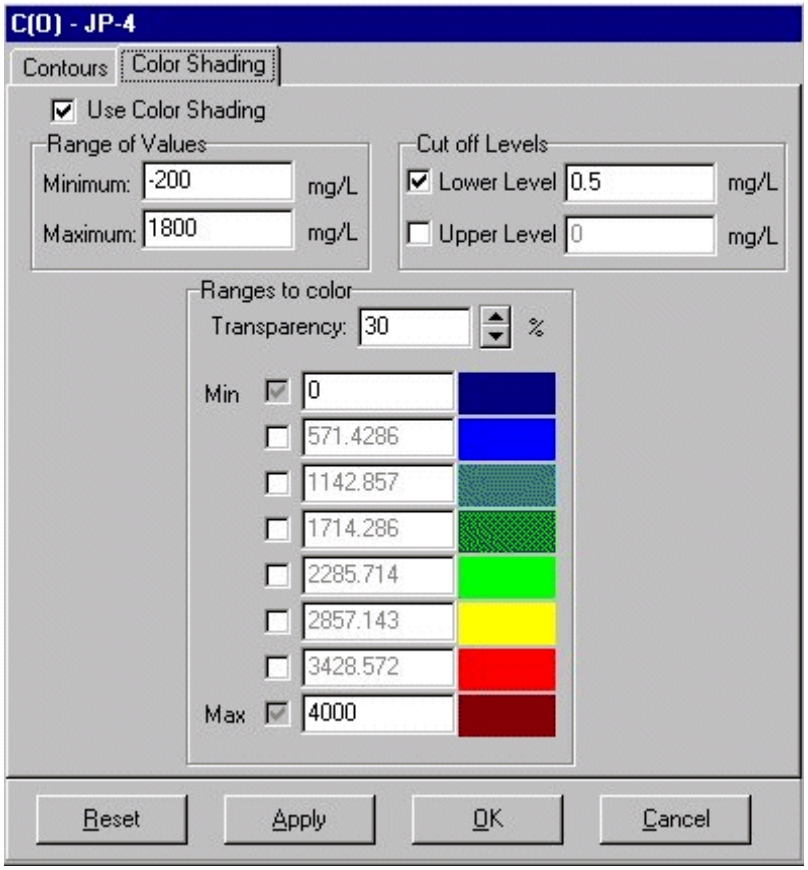
尽管这不是一个严格的对数范围，但是它提供了一个更好的浓度等值线的表示。

接下来，将通过改变 **Contouring resolution/speed** 设置，从 **Highest/Slowest** 到 **High/Slow** 以增加浓度等值线的绘制速度。

最后，可以打开颜色阴影选项以显示浓度彩图。

点击 **Color Shading** 标签

Color Shading 选项出现，如下图所示：



选择 **Use Color shading**

在 **Cutoff Levels** 部分

选择 **Lower Level: 0.5**

Lower Level 设置将在 0.5 mg/L 处“剪切”彩图（所有浓度在 0.5mg/L 以下的值将不再图上显示）。0.5mg/L 的 **Lower level** 设置是一个行动水平。如果下部含水层的污染物浓度等于或大于 0.5 mg/L，就必须要采取措施以补救这种情况。

Ranges to color 部分列出了当前输出时间的浓度值范围。在 **Ranges to color** 部分输入以下值：

Min: 0.0

Max: 4000

点击**[OK]**

使用了最大浓度值 4000，因为它表示了整个模拟时间内计算浓度的上限（不只是 730 天的第一段输出时间）。

注意到浓度等值线图和彩图表面上是透明的以显示下面模型的特征以及多幅图同时。原因是在可视化 MODFLOW 中用来反映分散数据的彩色阴影等值线图的绘制工具和算法以升级到包括丰富的 RGB 配色方案。然而，你可能想改变默认的覆盖优先次序。

在底部散文菜单条中选择**[F9 - Overlay]**

List only the visible overlays 选项仍然要选择，因此覆盖列表只包括当前正在显示的覆盖。

选择 **User Defined**

向下浏览列表（向中部）找到 **C(O)- Head Equipotentials**

点击 **C(O)- Head Equipotentials** 旁边最左侧的一列（图的右侧出现黑色三角形的地方）以使这一行变亮成为完全的黑色，然后点击**[Up Arrow]**按钮直到移动到 **C(O) -**

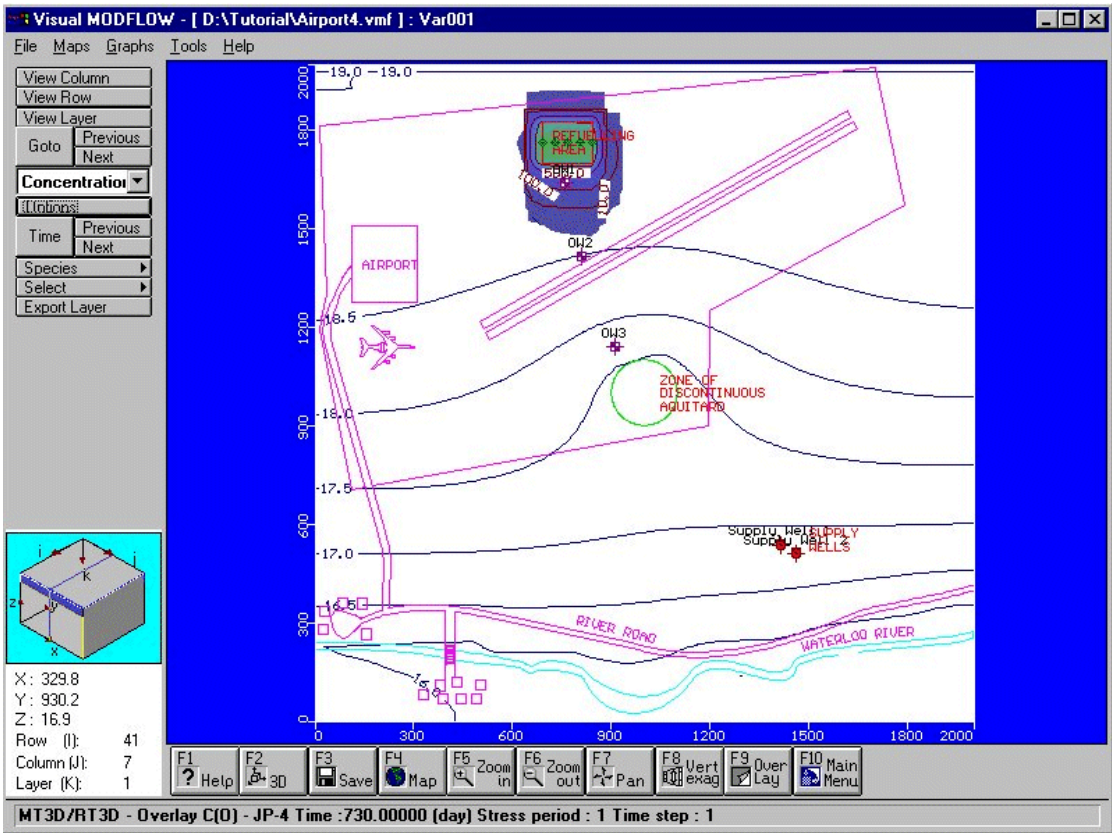
JP-4 Overlay 以上（保证 **C(O) – Head Equipotentials** Overlay 仍然选择为显示）。

最后，删除在输出显示上删除迹线覆盖。

不选择 **PT – Pathlines** 以不显示迹线覆盖

点击**[OK]**

输出显示应该与下图相似：



将光标置于显示结果上，将看到当前选择时间：730 天在状态条中显示。

为了看到其它输出时间的浓度彩图以及等值线图

在左侧的工具条中选择**[Time]**

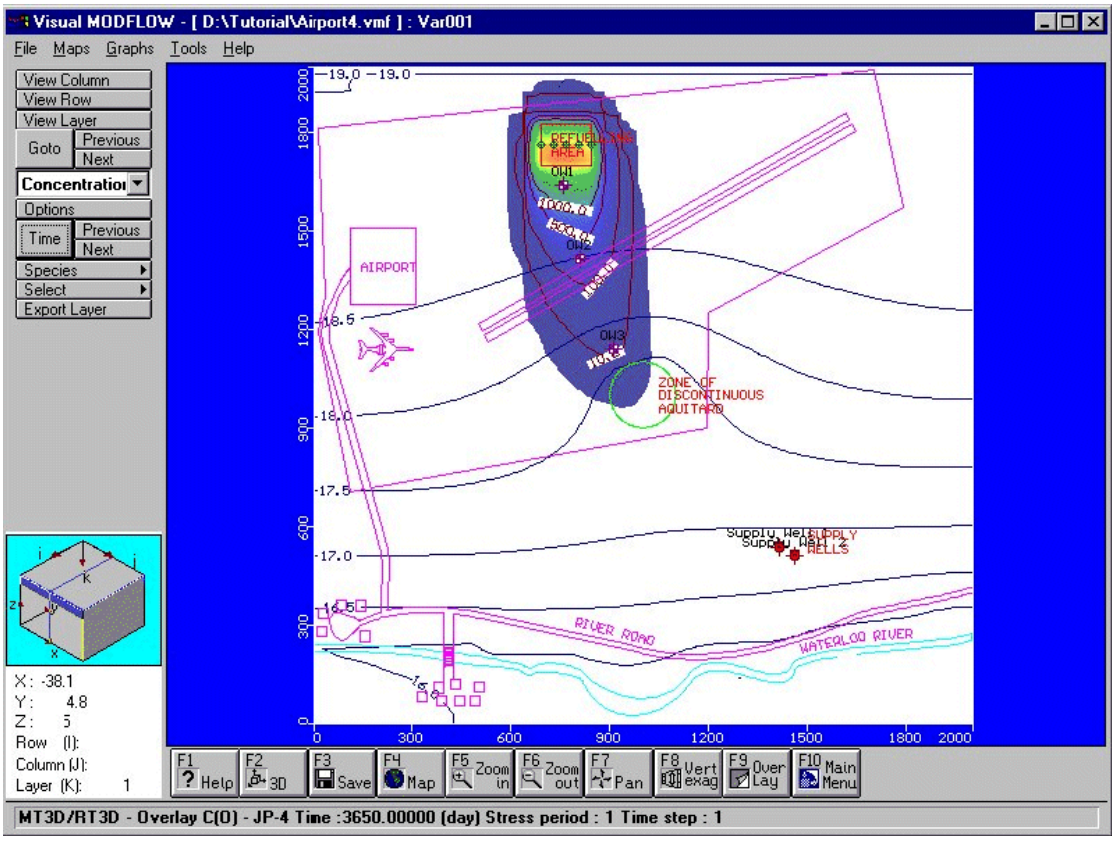
Select Output Time 窗口出现，列出了可用的输出时间。

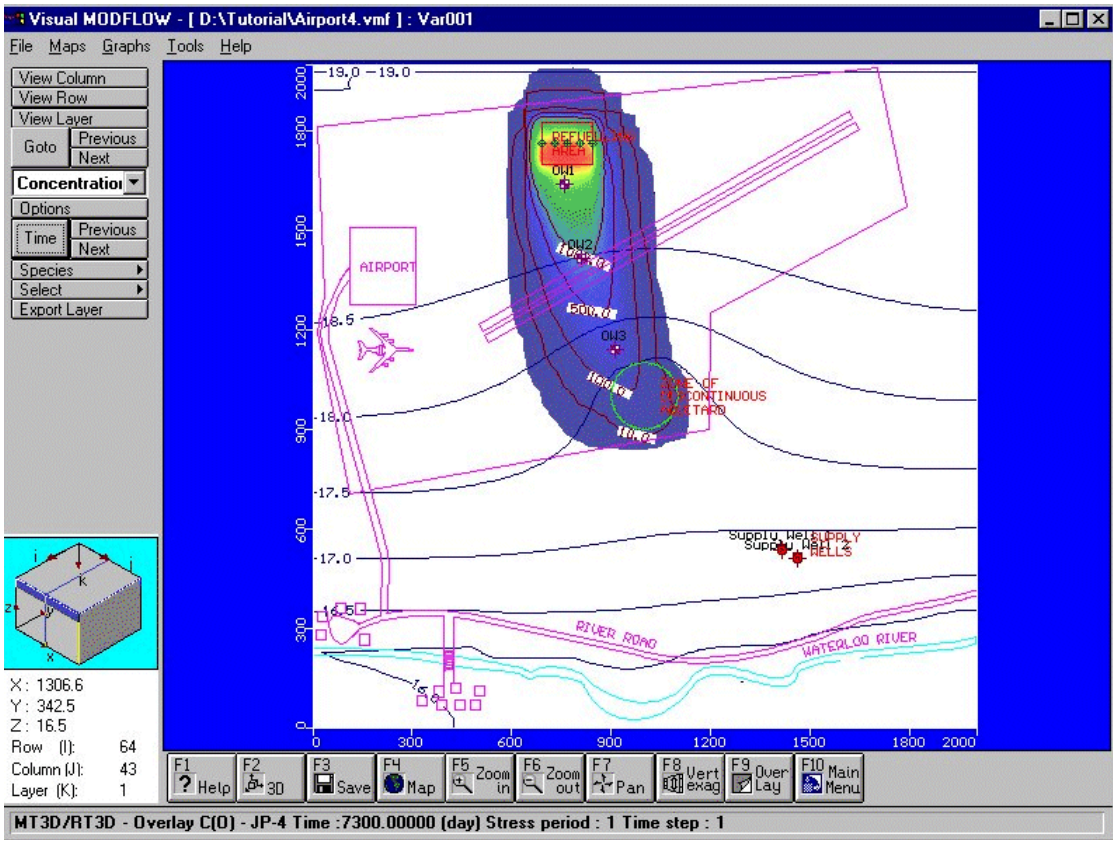
点击 1460

点击[OK]

显示了 1460 天输出时间结果的浓度等值线图出现了。可以通过点击左侧工具条中[Time]按钮旁边的[Next]按钮继续看后面的时间步长。

3650 天和 7300 天时，模型第一层的浓度应该与以下图相似：



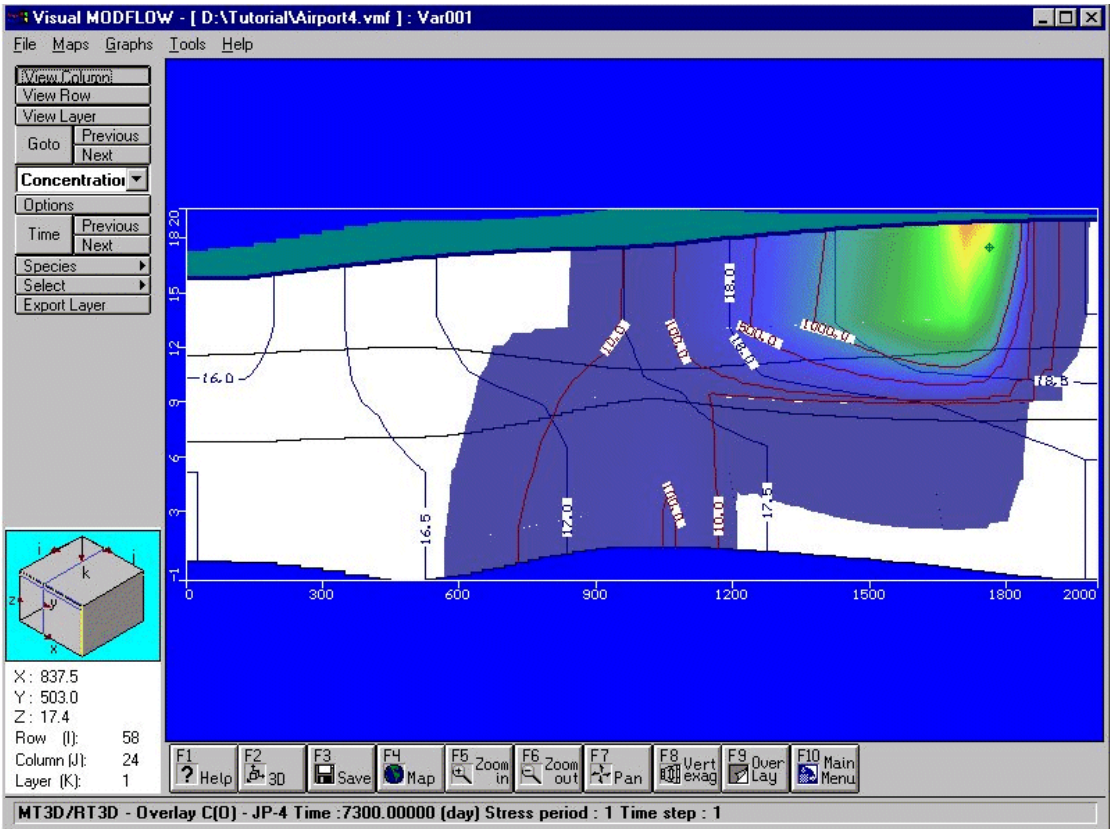


模拟时间 7300 天（20 年）以后，很清楚的看到污染羽已运移到隔水层中的“洞”。为了看到在剖面中污染羽的形态

点击**[View Column]**

移动鼠标指针到模型区域，然后点击经过污染羽的一列。

污染羽的剖面视图应与下图相似

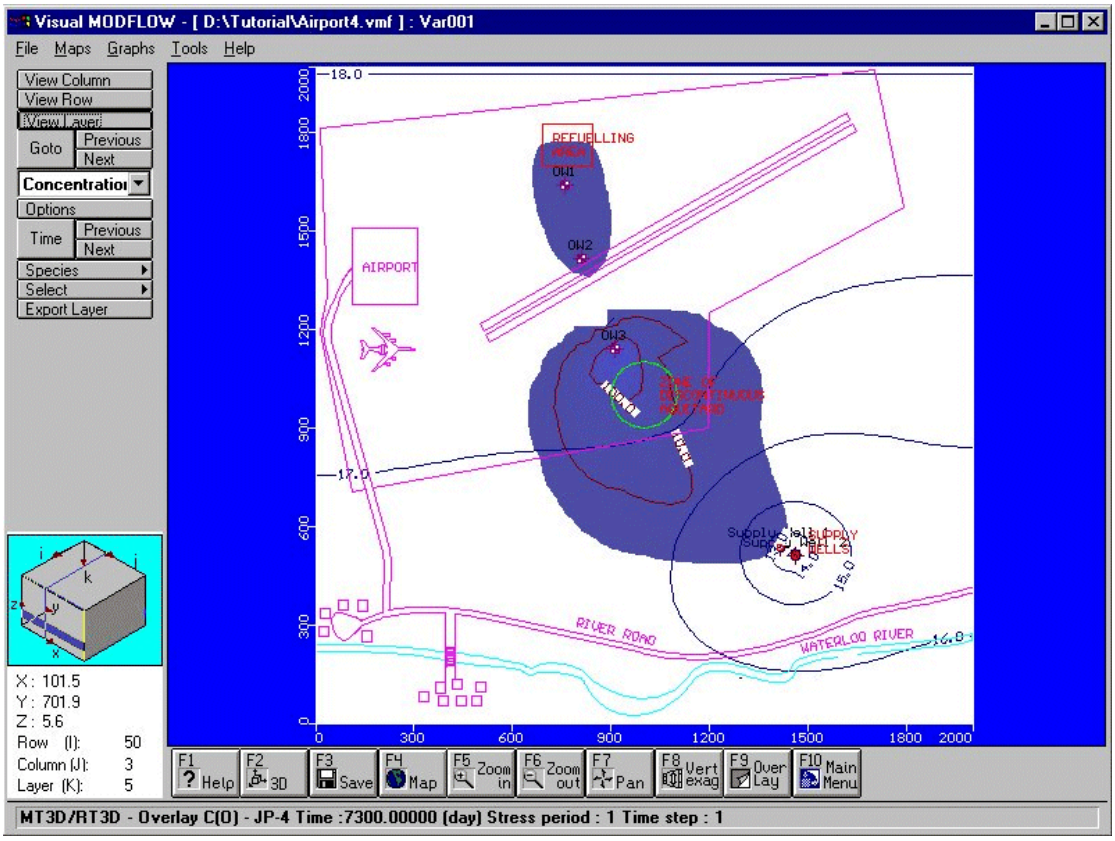


上图显示了浓度在行动水平以上的污染羽已经运移进入下部含水层，并最终威胁抽水井。为了看到下部含水层中的污染羽

点击**[View Layer]**

移动鼠标指针进入剖面视图并点击第 5 层。

显示结果应与下图相似：



第十八部分：浓度—时间图

在这一节里面，你将学习怎样由观测的浓度数据来由模型计算浓度值。

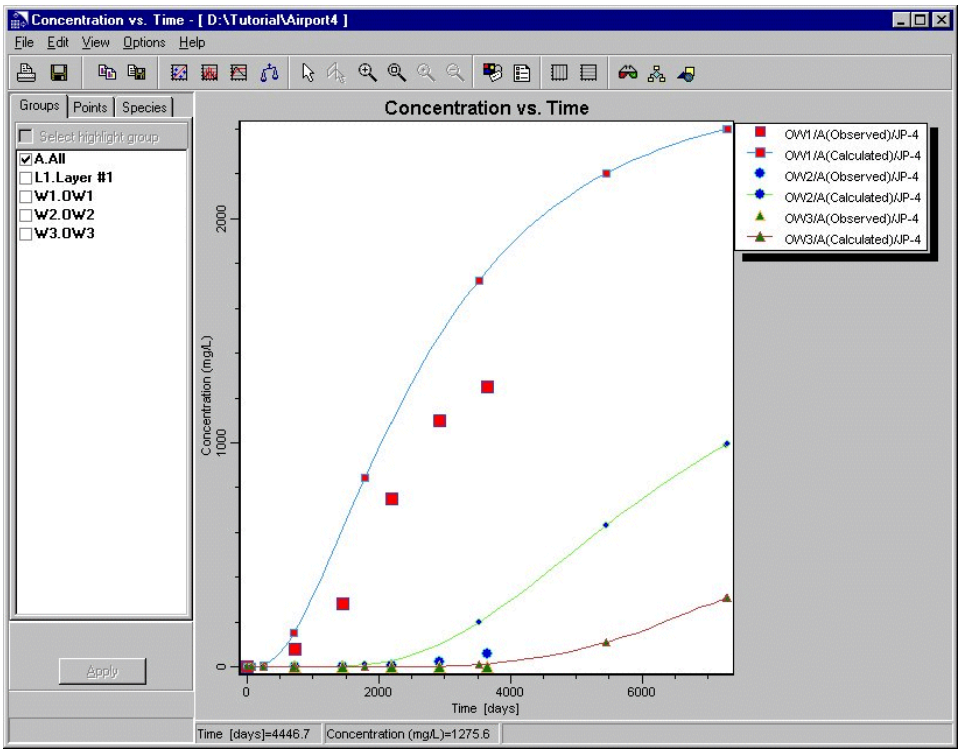
Graphs/Time Series/Concentration 从左边工具栏

一个浓度－时间图将显示，并能观测到一个由浓度观测数据值组成的折线。

从左边窗口“**Groups**”下的“**A.All**”

点击**[Apply]**

你将看见在模型中定义的三个浓度观测井的曲线（如下图）。



这个时间系列图显示了 ，当观测数据用点符号代替时，计算结果使用了一个线和点的表达方式。观测数据点的颜色和形状和计算值相似。但是观测数据的点稍微比计算值大一些以便区别。

右击图看见一个菜单

Properties

Properties 窗口将为图定制外形和设置的选项。

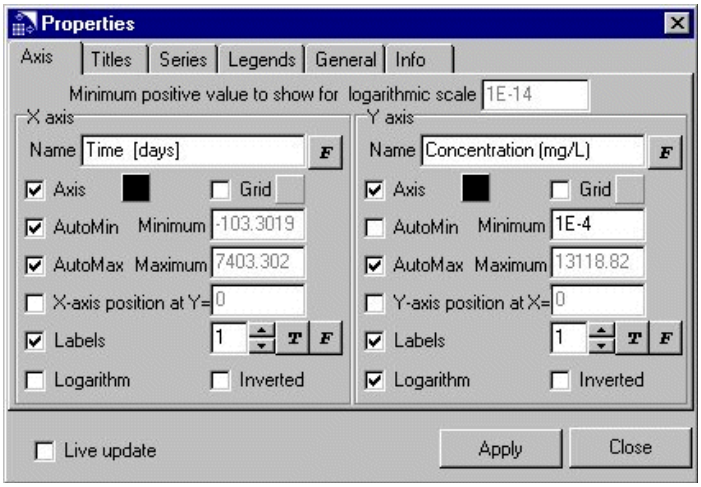
在 **Y-axis** 下面

选中 **Logarithm**

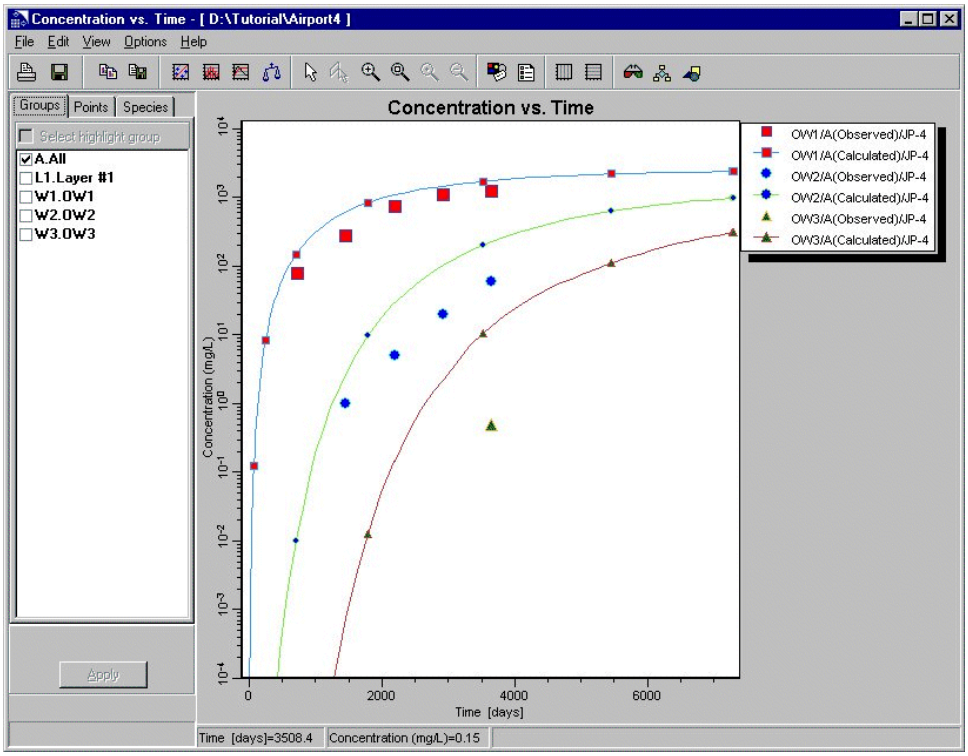
取消 **Automin**

Minimum: 1e-4

[Close]



浓度－时间图显示结果如下：



从观测值和浓度计算值的比较，在 2 号和 3 号井很容易看出有很低的浓度值。

这个图能打印并保存为.BMP, .WMF, .EMF, .DXF, .JPG, .TIF, .GIF, or .PNG 格式文件，或数据能够输出为 ASCII .TXT 文件。

NEW *Visual MODFLOW v.4.0* 能输出模型的属性值和模拟结果为多样的 *ASCII* 和二进制文件格式。这种格式可以有 4 列或更多的列，包裹每个网格的 X Y Z 坐标，网格的坐标能用世界坐标或模型坐标。数据能够输出为一个文件中的多层，或每层一个文件。大多数参数值发生在模型网格中，这个网格不同于 Surfer 中的网格，不活动的网格值可以在输出数据中去掉。