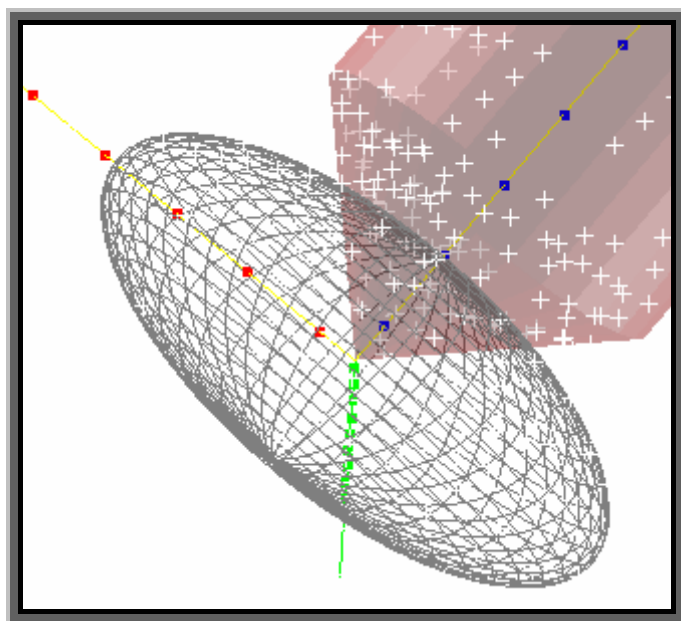


3DMine 矿业工程软件系列教材

地质统计教程



www.3DMine.com.cn

2009.4

地质统计教程

预备知识

地质统计学由法国巴黎国立高等矿业学院 G.马特隆教授于 1962 年所创立，主要是为了解决矿床储量计算和误差估计等问题而发展起来的。

地质统计学的核心方法是克里金 (Kriging) 差值法，它是以南非矿业工程师 D.G.Kriging 名字命名的一项实用空间估计技术，是地质统计学的重要组成部分。

克里金法是把矿体划分成许多小块段(待估块段)，在充分考虑信息样品的形状、大小及其与待估块段相互间的空间分布位置等几何特征以及品位的空间结构之后，为了达到线性、无偏和最小估计方差的估计，而对每一信息样品值分别赋予一定的权系数，最后进行加权平均来估计块段品位的方法。这些权系数则是通过建立、求解克里格方程组计算而得。它以最小的估计方差给出对于块段平均品位的无偏线性估计量。

用克里金法来估计矿床某块段的矿石品位或矿体厚度等参数，在利用变异函数处理这些参数时，不仅考虑了各样品相对于块段的空间位置，而且考虑了邻近其他样品相互空间关系，因而所获结果更接近真实，正好避免了块段法品位估值的缺点。它的加权因子是以矿床在各个方向变异函数的块金常数、基台值和变程为基础计算出来的，这种加权方法充分考虑了矿脉的空间变化及其品位空间变化特征，并且采用了无偏的误差最小的数理统计法计算样品的加权因子和块段的品位。从而提高了矿产储量估算的精度。

变程 — 指区域变化量在空间上具有相关性的范围。在变程范围之内，数据具有相关性；而在变程之外，数据之间互不影响，即在变程以外的观测值不对估计结果产生影响。

基台值 — 代表变量在空间上的总变异性大小。即为变差函数在 h 大于变程时的值，为块金值和拱高之和。

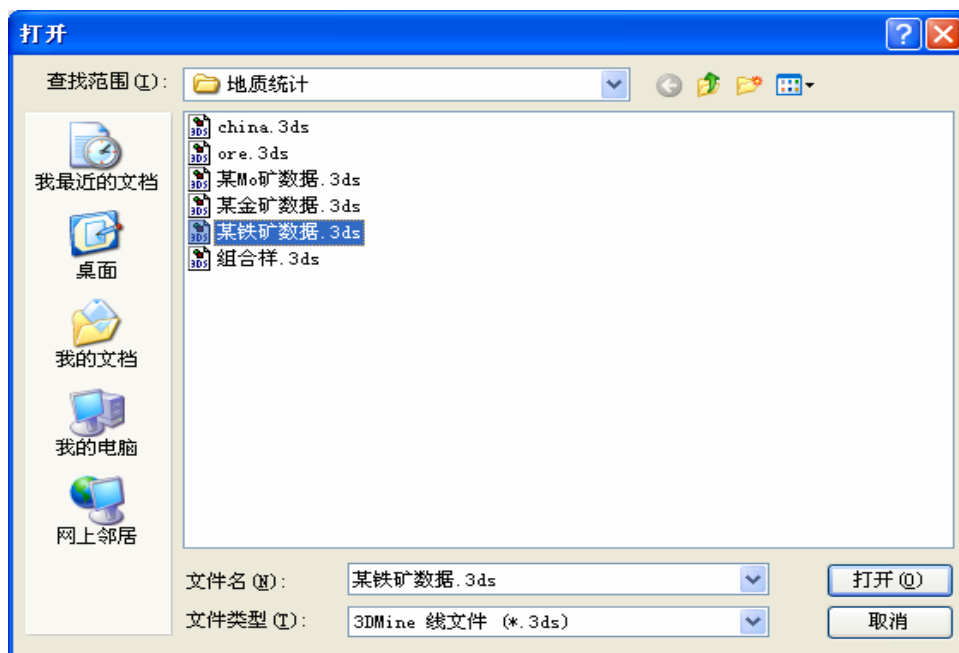
拱高 — 在取得有效数据的尺度上，可观测得到的变异性幅度大小。当块金值为 0 时，基台之即为拱高。

块金值 — 变异函数如果在原点间断，在地质统计学中称为“块金效应”，表现为在很短的距离内有较大的空间变异性，无论 h 多小，两个随机变量都不相关。它可以由测量误差引起，也可以来自矿化现象的微观变异性。在数学上，块金值相当于变量纯随机性的部分。

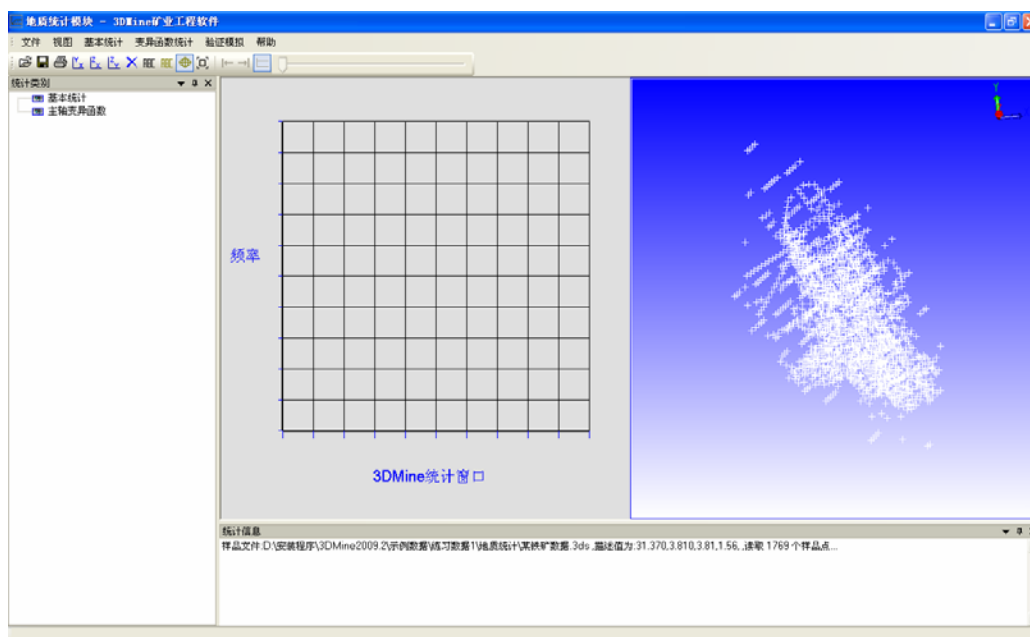
第一节 基本统计

一、新建基本统计

1. 准备样品点文件。选择**文件**►**打开样品点文件**，弹出“打开”窗口，选择需要统计的样品点文件打开，例如，选择某铁矿数据.3ds:



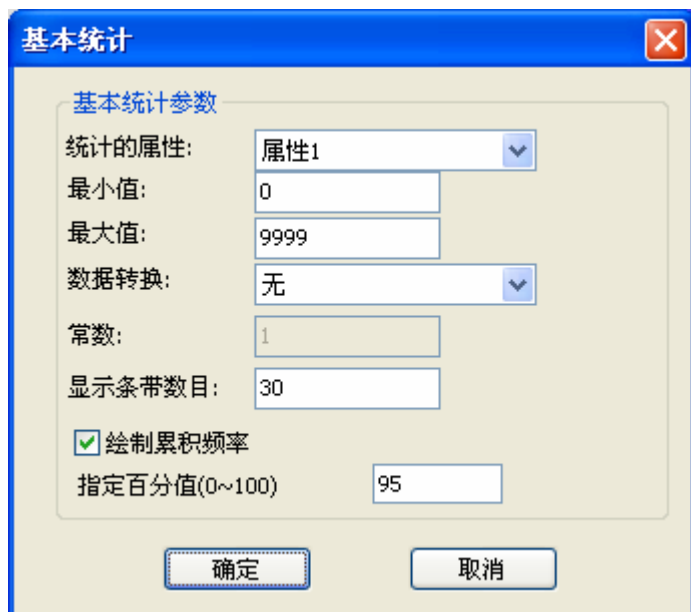
2. 样品点数据打开后将在右侧图形区显示，中间是统计窗口，用于显示统计结果，左侧是统计类别，分为基本统计和主轴变异统计：



在菜单栏选择**基本统计**►**新建基本统计**，或者在统计类别中基本统计一层，点击鼠标右键，弹出快捷菜单中选“新建基本统计”，如下图所示：



3. 弹出“基本统计”对话框，如下图所示：



其中：

统计的属性 — 可以从下拉列表中选择对哪个属性进行统计，一般为样品的品位。

最小值 — 设定统计的最小值。

最大值 — 设定统计的最大值。

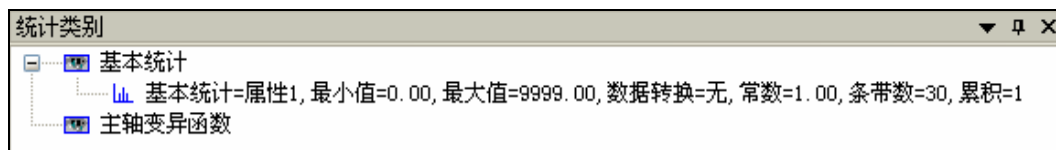
数据转换 — 下拉列表中给出 6 种数据的转换方式，包括无转换、以 10 为底对数、自然对数、自然常量对数、自然指数和幂次方。

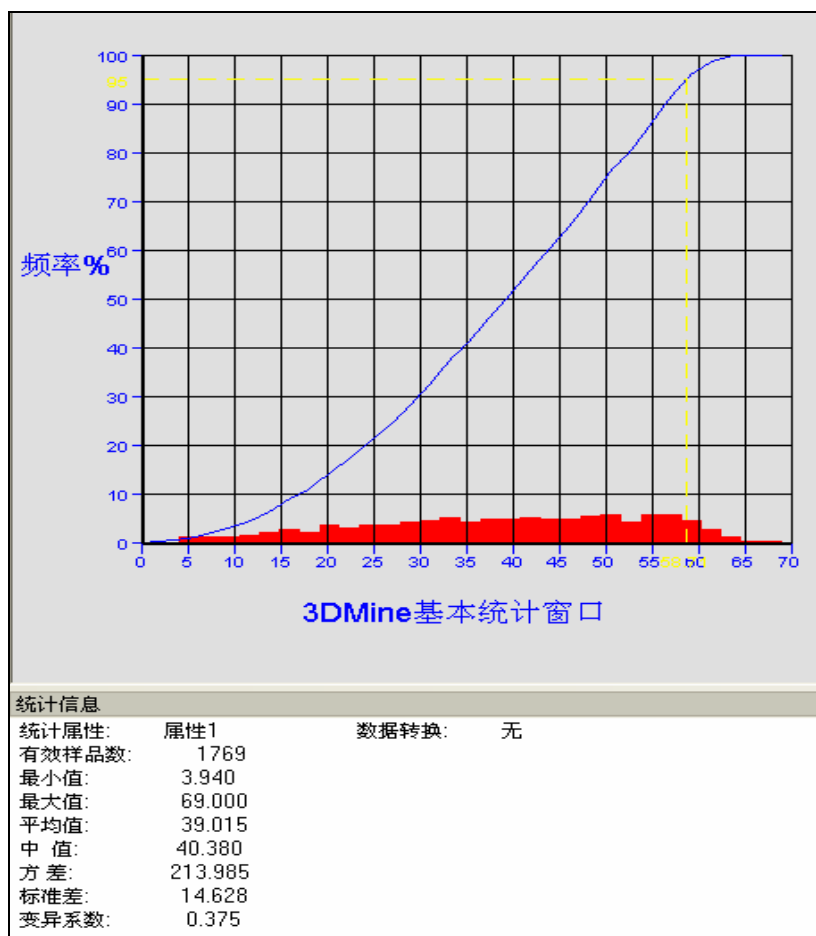
显示条带数 — 显示柱状体的条数。

绘制累积频率 — 绘制累积频率曲线。

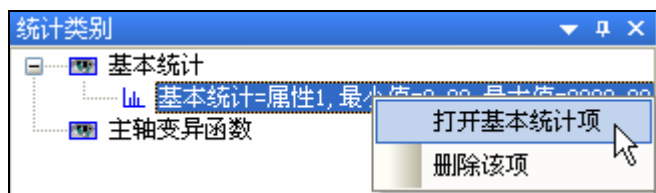
指定百分值 — 指定某个数值后，累积频率曲线对应的指定值会以特殊颜色标识，用来处理特高品位的剔除量。

4. 按照默认设置，对铁矿的样品点的属性 1 品位值进行基本统计。点击“确定”后，统计结果在统计窗口中显示出来，蓝色曲线为累积频率，黄色虚线为指定百分值，红色条带表示品位值出现的频率。另外，统计信息区域中显示计算的中值、方差、标准差和变异系数等参数；统计类别中基本统计层显示刚才设置的参数，如下图所示：





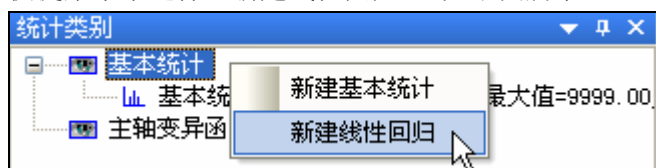
5. 如果要重新设置基本统计参数，可以在统计类别中基本统计层下面列出的参数处点击鼠标右键，在快捷菜单中选“打开基本统计项”即可弹出“基本统计”对话框，或者再次新建基本统计，统计类别中基本统计一层下面将列出新设置的统计参数。



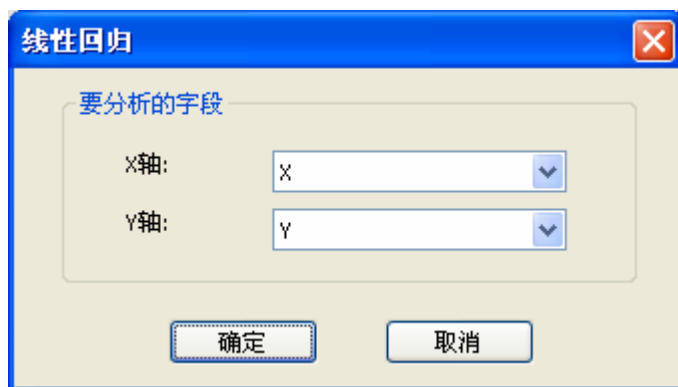
二、新建线性回归分析

线性回归分析主要是用来分析两种元素之间的内在关系。

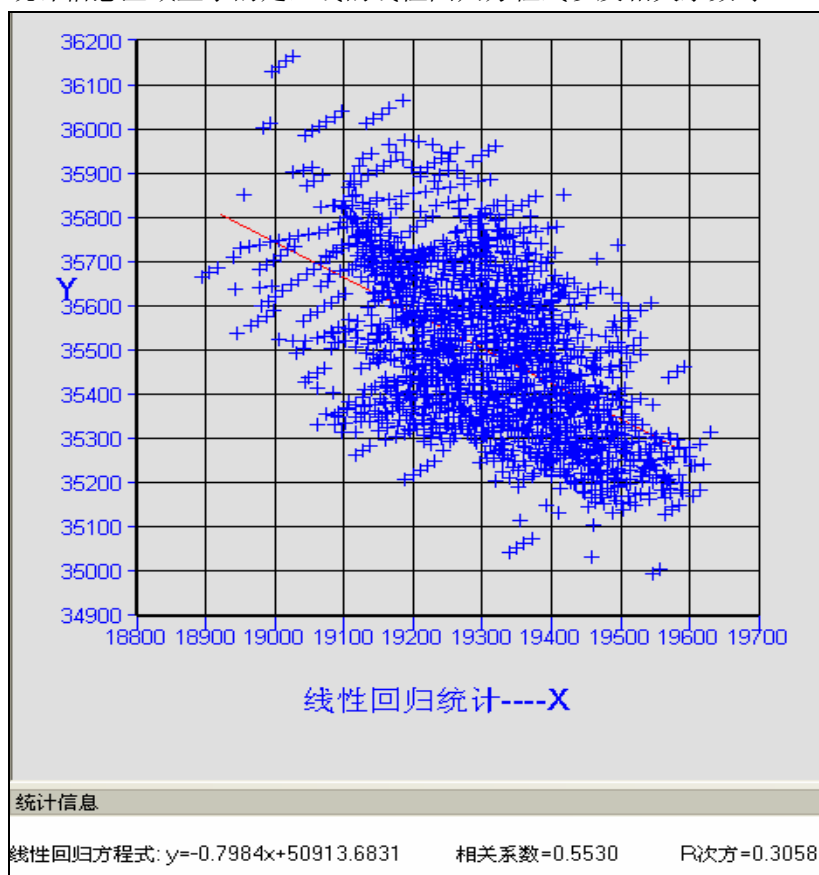
1. 选择菜单栏**基本统计**►**新建线性回归分析**，或者在统计类别中基本统计处点击右键，在快捷菜单中选择“新建线性回归”，如下图所示：



2. 弹出“线性回归”对话框，在 X 轴、Y 轴的下拉列表中选择要分析的字段，如下图所示：

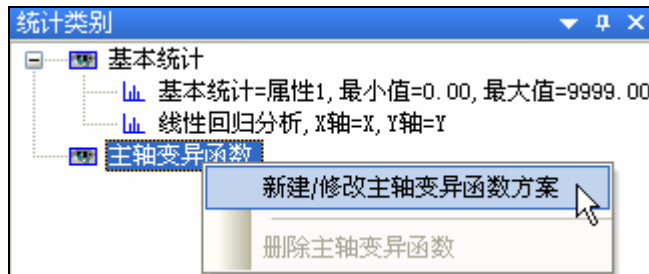


3. 例如，按照默认值确定后，统计窗口显示出统计结果，红线代表两种元素的规律性，在统计信息区域显示的是红线的线性回归方程式以及相关系数等。

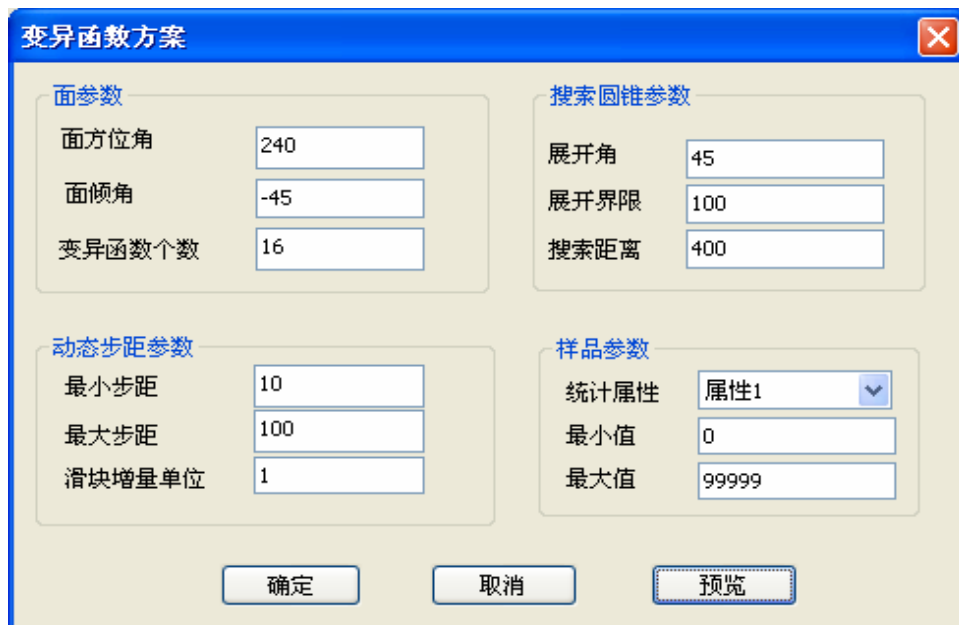


第二节 变异函数统计

1. 打开样品点文件，例如：示例数据/练习数据 1/地质统计/某铁矿数据.3ds；
2. 在菜单栏选择**变异函数统计**➤**新建主平面变异函数**，或者在统计类别区域的主轴变异函数一层点击右键，在快捷菜单中选择“新建/修改主轴变异函数方案”，如下图所示：



3. 弹出“变异函数方案”对话框，如下图所示：



其中：

面参数 — 指样品点在空间形成的面的产状，包括面方位角、面倾角等参数。

展开角 — 搜索圆锥的顶角。

展开界限 — 搜索圆锥的半径。

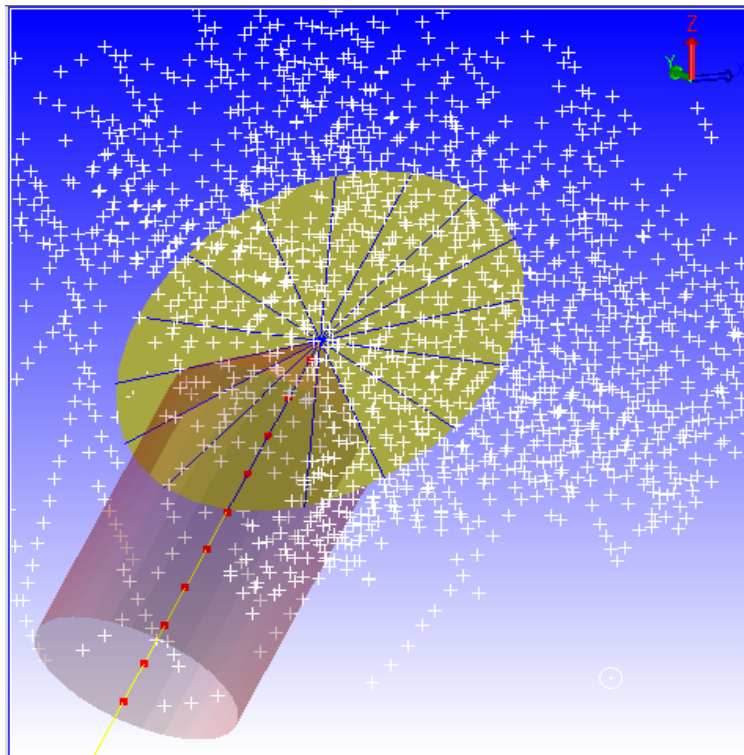
搜索距离 — 搜索圆锥向外延伸的长度。


统计属性 — 从下拉列表中选择需要统计的属性。

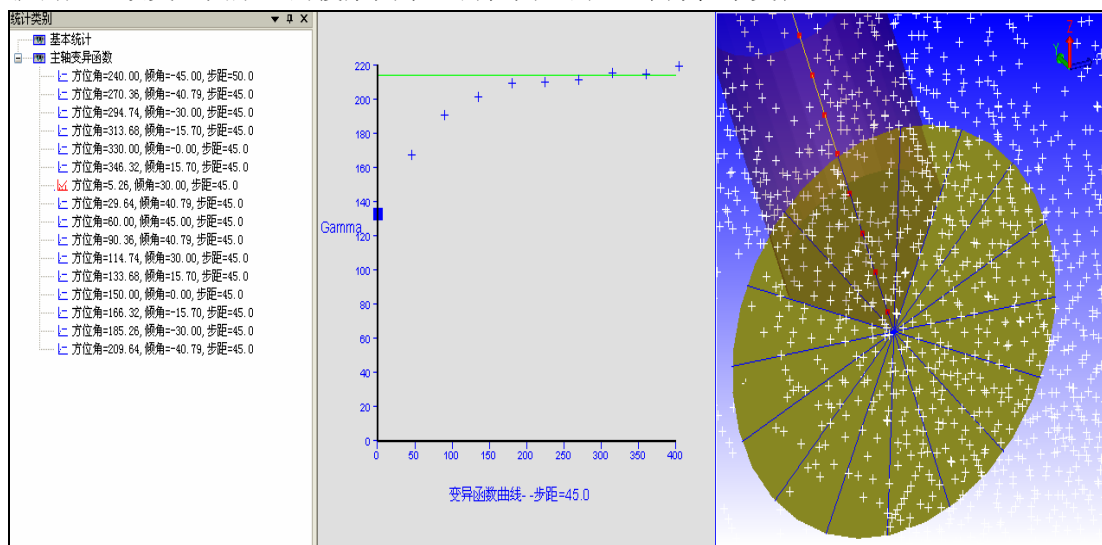
最小值 — 样品值小于该值时，将不进行统计。

最大值 — 样品值大于该值时，将不进行统计。

设置的参数可以随时点击“预览”查看，搜索圆锥及产状面圆盘的 16 个扇区将显示在右侧图形区，产状平面必须与矿体走向吻合，搜索圆锥应尽量搜索到所有样品点，如下图所示：

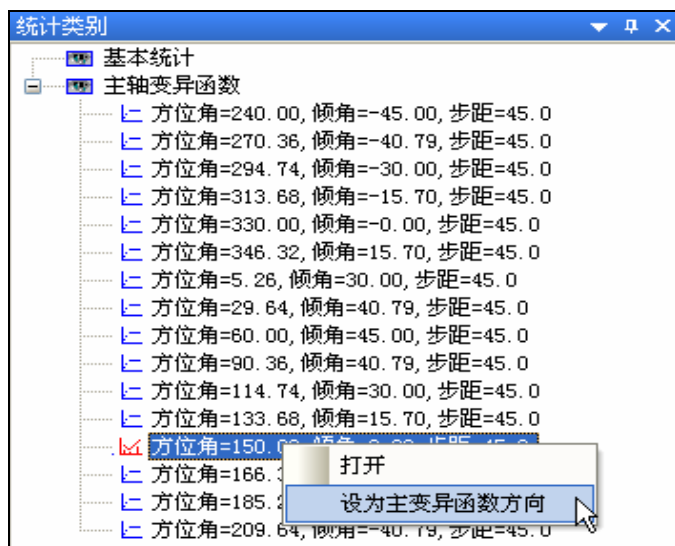


4. 设置完参数后，点击“确定”，软件很快计算出 16 个方向的变异函数，在统计类别主变异函数下每双击一个方向，或点击工具栏  向前、向后移动图标，变异函数的曲线就会随之改变，图形区的搜索圆锥也会在圆盘的 16 个方位中变化。



5. 由于样品在各个方向上的影响半径并不一样，所以必须要找出各个方向上的影响距离的比值，这就是我们所说的各向异性。理论上有两种各向异性，第一种是几何各向异性，是指变异函数在空间各个方向上，变程不同，但基台值不变；第二种是带状各向异性，是指不同方向的变异函数具有不同的基台值，其中变程可以不同，也可以相同。3DMine 中只考虑几何各向异性。

在所有扇区中选择最符合正态分布的一个方向，我们将在此方向上点击右键，选择“设为主变异函数”，也就是搜索椭球体的主轴，如下图所示：



6. 主轴确定后，在垂直于主轴的方向上又产生一个平面，分为 16 个扇区（如下图 1 所示），在这 16 个扇区中，按同样的方式再找到一个最符合正态分布的方向，确定为次轴（如下图 2 所示）：

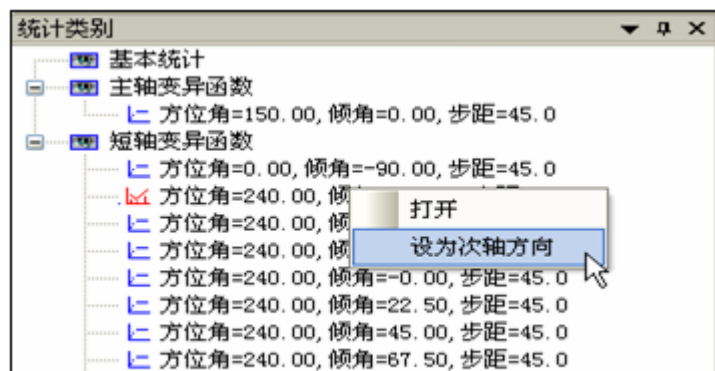
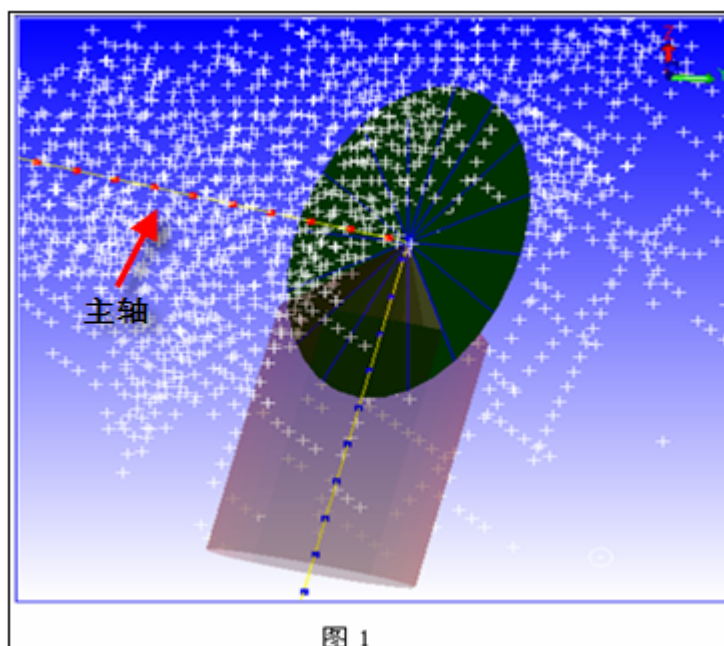
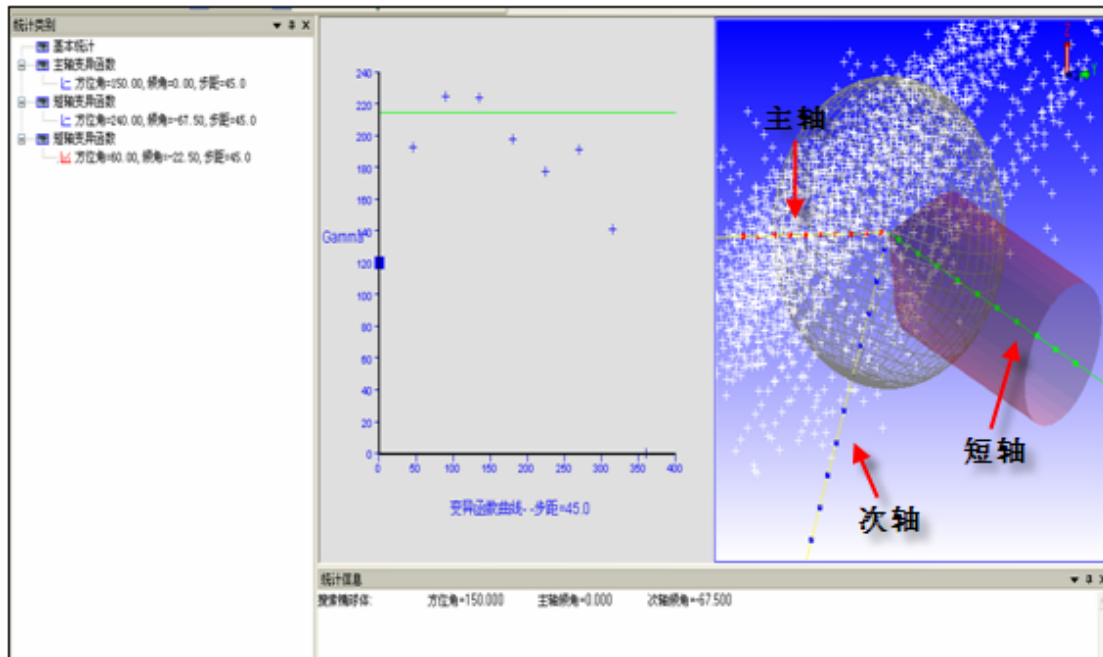


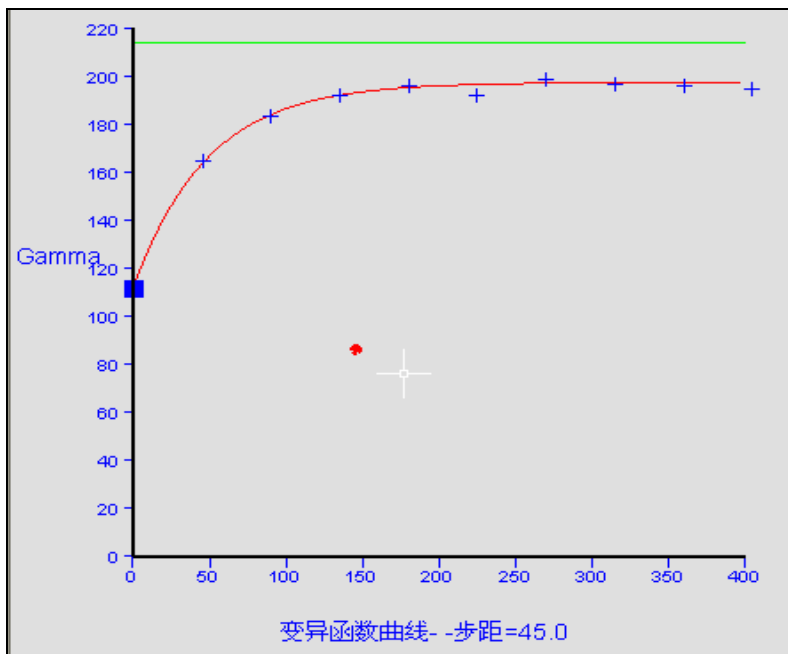
图 2

7. 当主轴与次轴都选定后，短轴方向自动确定，短轴垂直于主轴和次轴，图形区显示出建立的搜索椭球体形态，如下图所示：




8. 下面再来确定椭球体的长轴与次轴及短轴的比值，这些要通过拟合函数模型来实现。

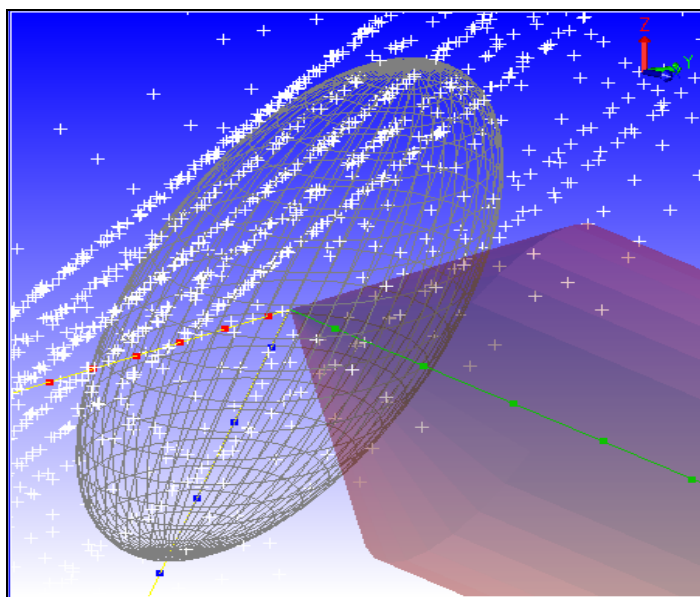
首先，为主轴拟合函数，根据其样品点形状，选择**变异函数统计>创建指数模型**，在变异函数曲线图上出现一条红色指数曲线，拖动曲线上一个红色圆点可以将曲线拟合到样品点位置，如下图所示：



9. 主轴拟合好指数模型后，次轴和短轴的指数模型也基本确定，可以滑动红色圆点进行左右移动，使曲线更接近样品点形状，这时可以发现，图形区的搜索椭球体的半径也随之改变。

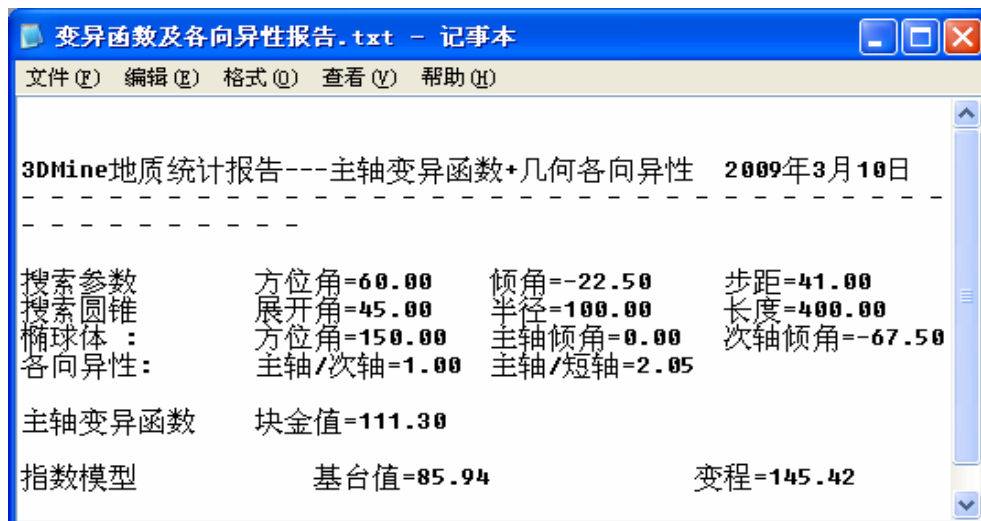
如果样品点比较少，可以滑动工具栏中的滑块 ，减少或增加搜索步距，同时样品点个数也相应的增加或减少，选择比较好的位置进行拟合。指数模型、搜索椭球体和几何各

向异性的具体参数可以参见下方信息栏，如下图所示：



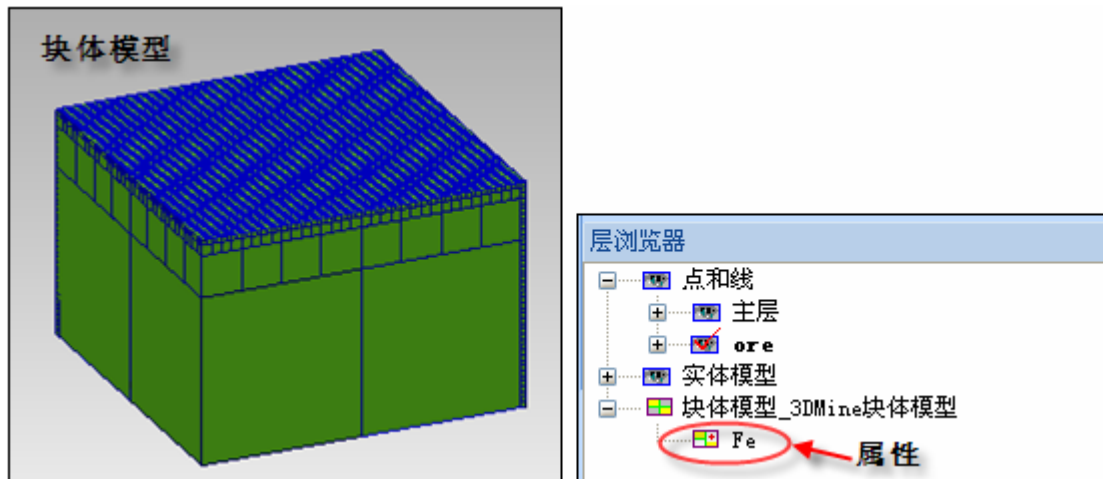
统计信息			
主轴变异函数	块金值=111.30		
指数模型	基台值=85.94	变程=145.42	
搜索椭球体:方位角=150.000		主轴倾角=0.000	次轴倾角=-67.500
几何各向异性系数:		主轴/次轴=1.000	主轴/短轴=2.712

10. 保存参数。选择**变异函数统计>报告模型及各向异性**，弹出另存为对话框，输入文件名后，参数将保存为*.par 格式的文件，以备估值时使用。保存后，弹出“变异函数及各向异性报告”的文本文件，记录了变异函数各个参数，如下图所示：

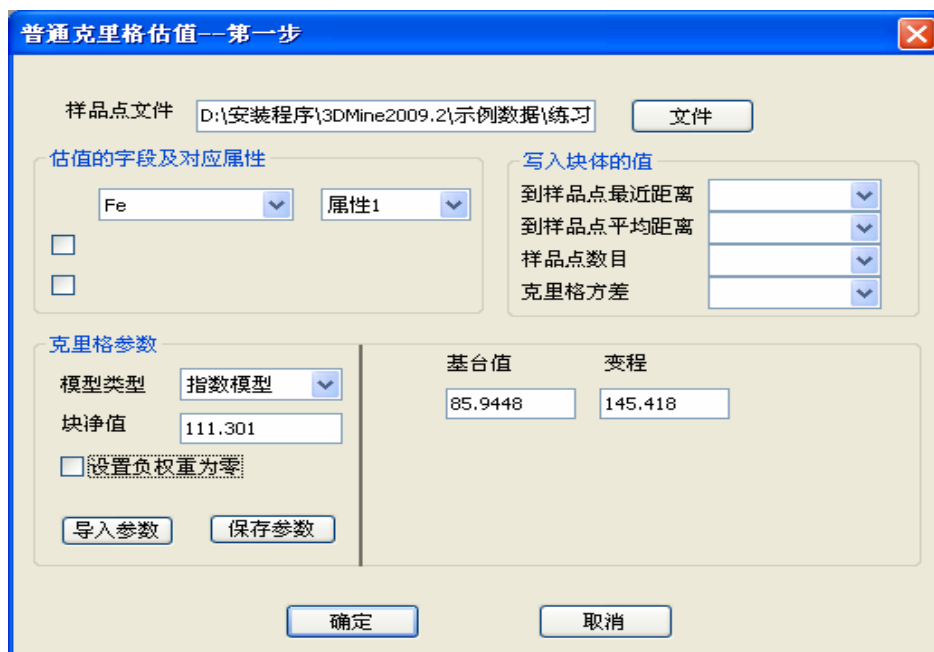


11. 下面举例说明，用计算出的参数用于估值。

①打开 3DMine 软件，调入矿体模型：示例数据/练习数据 1/地质统计/ore.3dm，建立块体模型和新属性 Fe，（可参考《帮助文档》中块体模型一节的详细介绍），如下图所示：



②选择块体模型>估值>普通克里格，弹出“普通克里格估值—第一步”对话框，点击 **文件**，从“打开”窗口中选择样品点文件，点击 **导入参数**，选择*.par 格式的参数文件，即通过变异函数统计得到的参数，自动输入到对话框中的模型、块金值、基台值、变程中，在“估值的字段及对应属性”中选择属性 Fe 及属性 1，如下图所示：



③上一步设置完后，点击“确定”，弹出“搜索样品参数—第二步”对话框，其中，搜索椭球体参数已经由*.par 文件自动给出，如下图所示：

搜索样品参数--第二步

搜索椭球体参数

最大搜索半径: 145.418 椭球体方位角: 150
主轴/次轴: 1 主轴倾角: 0
主轴/短轴: 2.0466 次轴倾角: -67.5

次分块估值

X: 3
Y: 3
Z: 3

样品参数

最少选择样品数: 3
最多选择样品数: 12
☐ 每孔最多选择样品数: 5
孔号所在的字段: 属性2

八分圆

☐ 使用八分区
有效分区最少数目: 2
分区内最少样品数: 1
分区内最多样品数: 4

☐ 只考虑XY平面距离 ☐ 显示椭球体

估值报告: 估值报告

确定 取消

④上一步确定后，弹出“块体约束引擎”对话框（如下图所示），选择**约束类型**为实体，点击 **文件**，从“打开”窗口中选择 ore.3dm 实体文件，选择 ☒ **内部**，表示用矿体的内部约束块体模型，然后点击 **添加约束 ->**，将该文件添加到空白区域，点击确定。

块体约束引擎

约束类型

☒ 实体 ☐ 表面 ☐ 闭合线 ☐ 块值 ☐ 区域文件

参数

实体文件: 文件 添加约束 ->
☒ 内部: 清除约束 --

实体内部D:\安装程序\3DMine2009.2\示例数据\练习数据1\地质统计\ore
☐ 保存到区域文件

确定 取消

⑤软件开始进行估值，估值结束后，弹出文本文件“估值报告”，其中包括估值的参数、部分未估值的样品点等。

估值报告.txt - 记事本

文件(F) 编辑(E) 格式(O) 查看(V) 帮助(H)

调试第一个块的估值结果

克里格矩阵:

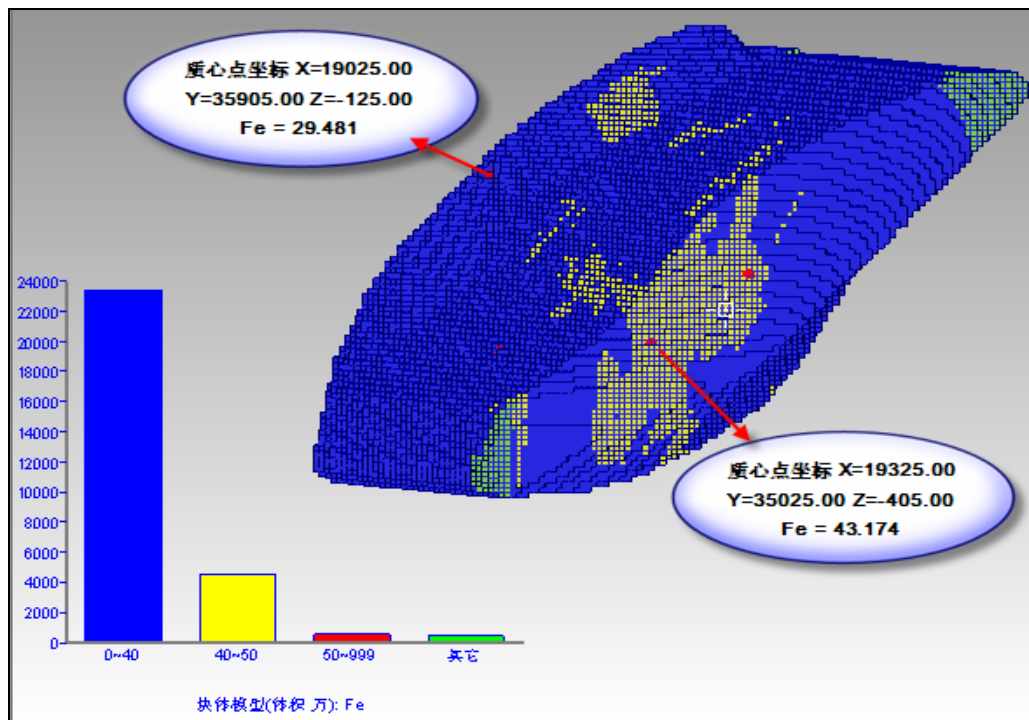
197.246	38.102	37.759	1.000	5.426
38.102	197.246	16.740	1.000	5.342
37.759	16.740	197.246	1.000	4.363
1.000	1.000	1.000	0.000	1.000

待估值点坐标 X=18815.000 Y=35715.000 Z=-675.000

真实距离	X	Y	Z	Fe	各向异性距离
18904.644					
127.612					
18894.242					
134.419					
18915.162					

权重	Z	Fe	各向异性距离
35677.233	-592.402	24.250	133.878
0.304912			
35666.831	-577.691	20.580	134.601
0.349964			
35687.751	-607.276	22.900	144.530

此时，块体模型通过克里格法赋上了数值，为了更直观的查看矿体品位，我们可以为块体模型按不同值范围着色，可以查询块体模型中任何一个块的品位值，如下图所示：



第三节 验证模拟

一、变异函数验证

通过变异函数统计将基台值、块金值、变程等计算出后，为了验证这些参数是否合理，需要通过交叉验证来检验。

1. 打开样品点文件。例如：示例数据/练习数据 1/地质统计/某铁矿数据.3ds;
2. 选择**验证模拟**►**变异函数验证**，弹出“估值参数”对话框，点击**导入模型**，从“打开”窗口中选择需要验证的变异函数统计工程文件，格式为*.var。“估值参数”中搜索椭球体参数、克里格参数等就会自动变为变异函数统计工程文件中保存的参数。如下图所示：

估值参数

最小值 最大值 字段 **导入模型**

搜索椭球参数

最大搜索半径	<input type="text" value="300"/>	椭球体方位角	<input type="text" value="150"/>
主轴/次轴	<input type="text" value="1"/>	主轴倾角	<input type="text" value="0"/>
主轴/短轴	<input type="text" value="2.0466"/>	次轴倾角	<input type="text" value="-67.5"/>
最少样品数	<input type="text" value="3"/>	最多样品数	<input type="text" value="12"/>

克里格参数

模型类型	<input type="text" value="指数模型"/>	块金值	<input type="text" value="111.301"/>
基台值	<input type="text" value="85.9448"/>	变程	<input type="text" value="145.418"/>

确定 **取消**

4. 上一步设置完参数后，点击确定，变异函数验证坐标图中出现绿色直线和红色散点，绿色直线表示原样品点品位值与克里格估值后品位值相差为零，红色散点表示估值后的品位值，红色散点离绿色直线越近，表示估值差别越小，参数设置越准确。如下图所示：

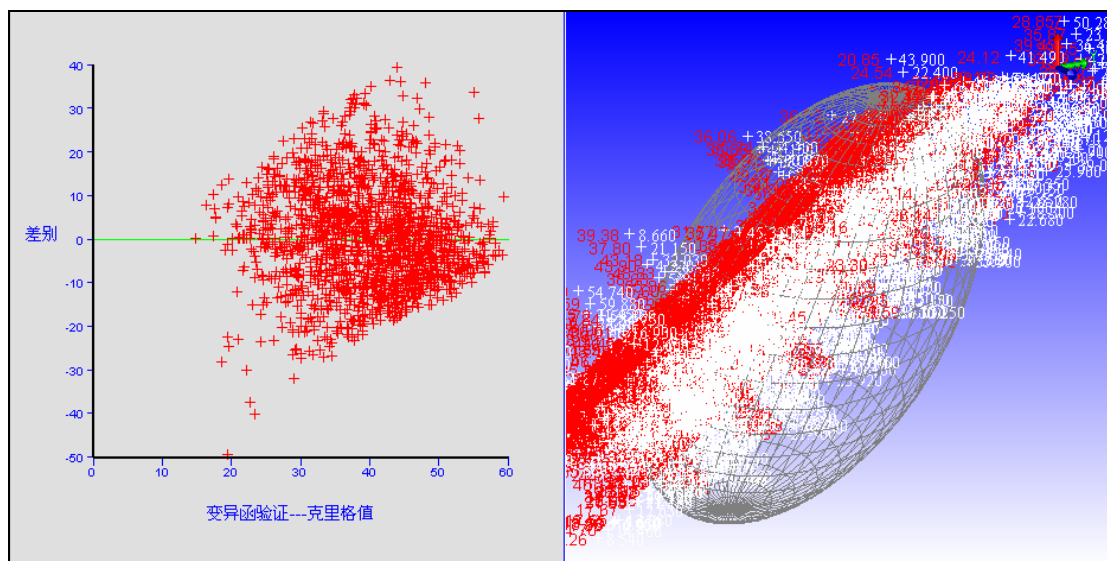


图 15-10 放大图形区的搜索椭球体，如下图所示，白色数值表示原品位值，红色数值表示用克里格估值后的品位值，两个数值相差越小，表示设置的参数越合理。

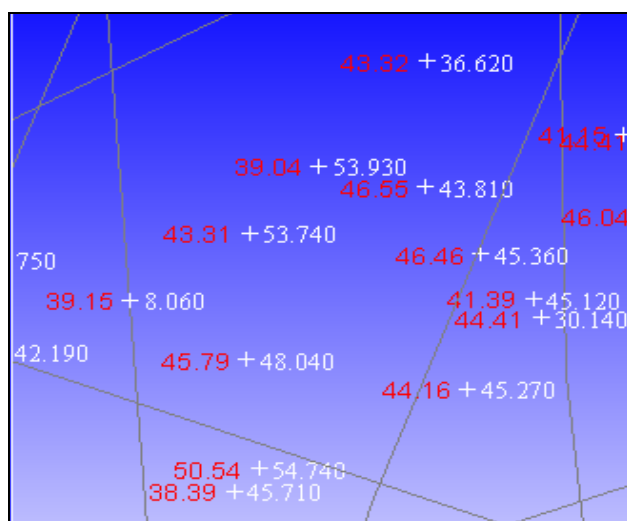


图 15-11 统计信息窗口显示变异函数验证的结果，分别列出样品点数、原始统计、估算统计和误差统计等参数。

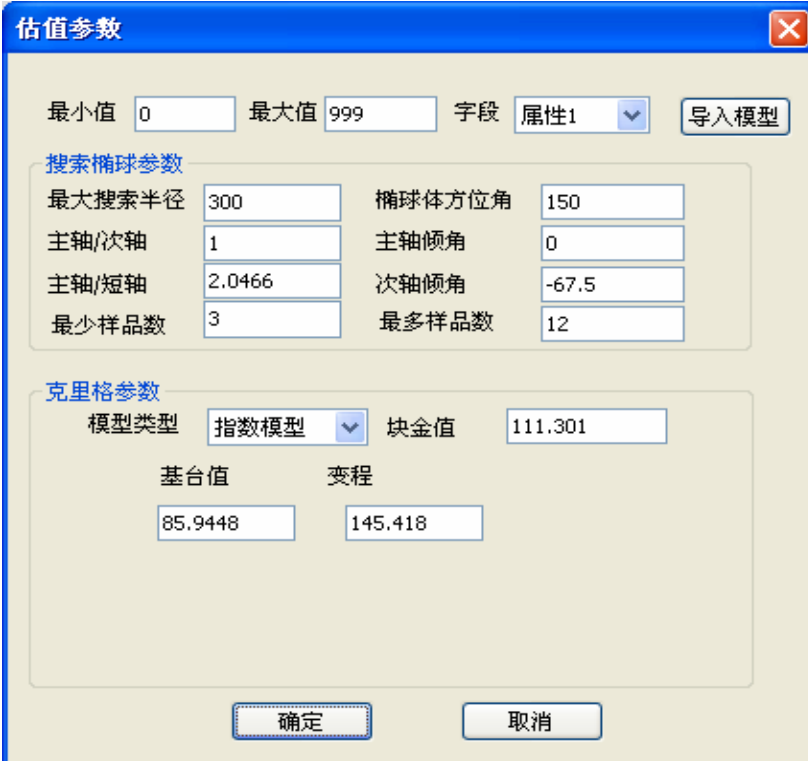
统计信息					
变异函数验证					

样品点数	=1769, 未估值的数目=0, 负值个数=0				
原始统计:	平均=39.0155	最小=3.9400	最大=69.0000	方差=213.9853	标准离差=14.6282
估算统计:	平均=39.4997	最小=14.7018	最大=59.3307	方差=70.3778	标准离差=8.3891
误差统计:	平均=0.4842	最小=-49.5492	最大=39.6089	方差=135.8257	标准离差=11.6544

二、普通克里格模拟

该功能主要是模拟普通克里格法估值的过程。

1. 打开样品点文件。例如：示例数据/练习数据 1/地质统计/某铁矿数据.3ds;
2. 选择**验证模拟>普通克里格模拟**，弹出“估值参数”对话框，点击**导入模型**，从“打开”窗口中选择需要验证的变异函数统计工程文件，格式为*.var。“估值参数”中搜索椭球体参数、克里格参数等就会自动变为变异函数统计工程文件中保存的参数。如下图所示：



估值参数对话框，包含以下参数：

- 最小值: 0
- 最大值: 999
- 字段: 属性1
- 导入模型按钮
- 搜索椭球参数:
 - 最大搜索半径: 300
 - 椭球体方位角: 150
 - 主轴/次轴: 1
 - 主轴倾角: 0
 - 主轴/短轴: 2.0466
 - 次轴倾角: -67.5
 - 最少样品数: 3
 - 最多样品数: 12
- 克里格参数:
 - 模型类型: 指数模型
 - 块金值: 111.301
 - 基台值: 85.9448
 - 变程: 145.418
- 确定按钮
- 取消按钮

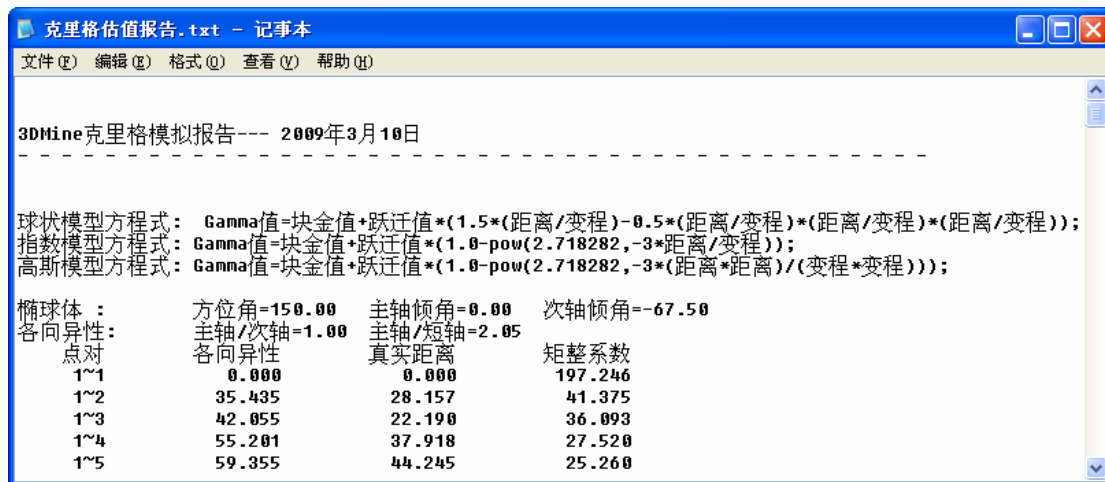
3. 上面估值参数确定后，弹出“输入要估值的点”对话框，点坐标由软件自动给出，也可以重新输入所需要的坐标值。



输入要估值的点对话框，包含以下参数：

- 点坐标:
 - X: 19262.4
 - Y: 35578
 - Z: -385.85
- 确定按钮
- 取消按钮

4. 输入要估值的点后，弹出文本文件“克里格估值报告”，报告中包括拟合模型的方程式、搜索椭球体和各向异性参数、克里格矩阵等。如下图所示：



5. 同时，在图形区，搜索椭球体内出现一组射线，中心点即输入的所要估值的点，12 条射线表示捕获了 12 个已知样品点，用 12 个已知点为其估值。

