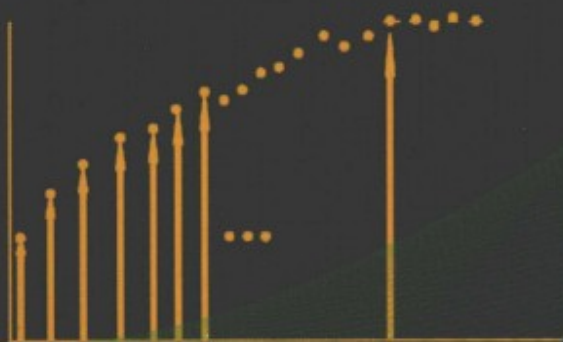




CHUCENG JIANMO  
SUANFA POUXI

# 储层建模 算法剖析

李少华 张昌民 尹艳树 著



石油工业出版社



CHUCENG JIANMO  
SUANFA POUXI

# 储层建模 算法剖析

责任编辑：庞奇伟

封面设计：赛维钰

责任校对：王 蕾

ISBN 978-7-5021-9071-2



9 787502 190712 >

定价：50.00 元

# 储层建模算法剖析

李少华 张昌民 尹艳树 著

石油工业出版社

## 内 容 提 要

本书详细介绍了地质统计学主流算法(含建模前后处理)的基本原理、输入参数含义、在商业化软件中的应用及生产实践中应注意的主要问题。

本书可供从事油气藏描述与建模方面的科技工作者及相关专业师生参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

储层建模算法剖析/李少华,张昌民,尹艳树著.

北京:石油工业出版社,2012.5

ISBN 978-7-5021-9071-2

I. 储…

II. ①李…②张…③尹…

III. 油气藏-储集层-建立模型-算法分析

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 099247 号

---

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

---

2012 年 5 月第 1 版 2012 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.75

字数:250 千字

---

定价:50.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

# 前 言

第一次接触地质统计学是在 1995 年,那时候刚刚留校进修完一年的计算机专业主干课程。江汉石油学院(现长江大学)地质系的张昌民教授给了我三张磁盘,是 GSLIB(地质统计学软件库)的源程序,正是这三张磁盘决定了我今后的研究方向。由于地质统计学当时在国内是一个比较新的学科,特别是地质统计学在我国石油行业中的应用才刚刚起步,缺乏可以借鉴和学习的资料,我对于地质统计学与储层建模方面的知识主要来源于 GSLIB 中各种算法源程序的剖析和帮助文档的学习,早期的地质建模工作也是基于 GSLIB 完成的。后来随着储层建模技术越来越受到重视,商业化的建模软件开始引入并推广,极大地促进了该项技术在我国各个油田的应用。商业化储层建模软件一般都具有强大的可视化功能、数据输入功能、统计分析功能和多种数据接口,且易于操作,极大地方便了广大科技工作者在生产实践中应用储层建模技术。但是,由于商业化储层建模软件封装了各种建模算法,算法的核心对于最终用户来说就像是“黑匣子”,而储层建模方面的商业化软件还没有智能化到只需要设置简单的几个参数就能够得到比较理想结果的程度。如果不了解各种建模算法的核心思想、基本理论及各个输入参数的地质含义等,尽管软件也可以算出一个结果,但是很可能不是一个好的地质模型。正是出于这方面的考虑,在 GSLIB 源程序详细分析的基础上,结合这些年在储层建模方面所做的一些工作以及使用储层建模软件 GridStatPro、RMS、Petrel 等积累的一些经验,编写了本书,希望能够对从事储层建模工作的科技工作者有所帮助。

本书共分为十章,每一章基本上按照算法的基本原理、参数含义解释、商业化软件中的应用以及实际应用中应该注意的问题进行组织。首先试图从数学的角度对每种算法的原理进行介绍,包括涉及的主要数学概念、公式、原理流程图等;然后介绍在 GSLIB 中该算法的输入参数文件中各个参数的含义,便于理解参数应该如何合理的设置;之后以目前比较流行的商业化建模软件 Petrel 为例,介绍算法在商业化软件中输入参数的含义;最后结合笔者的实际工作经验以及文献调研的结果,介绍实际应用中需要注意的若干问题。书中的第二、三、四、五、六、八、十章基本上都是按照上述模式分别介绍了变差函数、克里金、序贯高斯模拟、序贯指示模拟、截断高斯模拟、基于目标的河道模拟以及相模型后处理;其中,第二章还介绍了变差函数最新研究成果——局部变化的变差函数的基本理论及应用;第十章除了介绍传统的后处理方法,还介绍了新提出的基于信息度的后处理方法。第一章介绍建模前的一种数据处理方法——去丛聚法,该方法目前基本上没有商业化软件实现该项功能,文中介绍了如何利用插件技术在 Petrel 软件上实现去丛聚;第七章介绍的模拟退火方法由于需要设置的参数多且算法可能不

收敛, Petrel 软件没有将其包括, 故没有在商业化软件中应用的章节; 第九章介绍了目前研究的热点建模方法——多点地质统计学中的 Snesim 算法。

本书应该说是笔者自 1995 年初次接触地质统计学以来多年工作积累的成果, 同时也包括了长江大学剩余资源研究组(3RG)全体老师和同学们的劳动成果。值此书稿即将出版之际, 很想对指引我步入这一学科的张昌民教授, 我的导师, 说一声谢谢, 是他在各方面给予我极大的帮助, 并一直激励着我向前进。我也很想对年逾八旬的裘怿楠老先生说声谢谢, 他那严谨的学风一直教导着我。我要感谢加拿大阿尔伯达大学的 Clayton V. Deutsch 教授, 在一年的访问学习期间给了我很多帮助和指导。我要感谢中国地质大学(北京)的于兴河教授, 我依然清楚地记得 2007 年我们参加葡萄牙地质统计学大会时他那滔滔不绝的讲演和对我的教诲。我要感谢中国石油大学(北京)的吴胜和教授对我们年轻一代学者的鼓励和提携。我要感谢我的学生李君、卢文涛、江远鹏、李密、何火华、李强、王伟、王勇标、李辉、包兴、秦宇波等, 他们为本书程序的调试、文字的校对、公式的编辑、图件的清绘等做了大量繁琐的工作。我要感谢我的妻子李琴, 是她背后无私的奉献促成了本书的完成。我要感谢的人还有很多, 在此不再一一列举。

在书稿最终完成之际, 我没有感到兴奋, 没有感到如释重负, 反倒是有些忐忑不安, 害怕工作做得不够扎实, 害怕书中还有没交代清楚的地方, 百密难免一疏, 留下我的电子邮箱: lish@yangtzeu.edu.cn, 欢迎广大同行不吝赐教。

李少华

2011 年 6 月

# 目 录

<b>第一章 去丛聚方法</b> .....	(1)
第一节 基本原理 .....	(1)
第二节 去丛聚方法计算参数说明 .....	(5)
第三节 去丛聚算法在商业软件中的应用 .....	(6)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(10)
<b>第二章 变差函数</b> .....	(12)
第一节 基本原理 .....	(12)
第二节 变差函数计算参数说明 .....	(19)
第三节 变差函数在商业化软件中的应用 .....	(26)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(28)
第五节 局部变化的变差函数 .....	(31)
<b>第三章 克里金</b> .....	(36)
第一节 基本原理 .....	(36)
第二节 克里金算法计算参数说明 .....	(44)
第三节 克里金算法在商业软件中的应用 .....	(51)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(54)
<b>第四章 序贯高斯模拟</b> .....	(60)
第一节 基本原理 .....	(60)
第二节 序贯高斯模拟计算参数说明 .....	(64)
第三节 序贯高斯模拟在商业化软件中的应用 .....	(68)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(72)
<b>第五章 序贯指示模拟</b> .....	(73)
第一节 基本原理 .....	(73)
第二节 序贯指示模拟算法计算参数说明 .....	(77)
第三节 序贯指示模拟在商业软件中的应用 .....	(81)
第四节 应用需要注意的若干问题 .....	(82)
<b>第六章 截断高斯模拟</b> .....	(85)
第一节 基本原理 .....	(85)
第二节 截断高斯模拟计算参数说明 .....	(89)
第三节 截断高斯模拟在商业化软件中的应用 .....	(90)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(95)

<b>第七章 模拟退火</b> .....	(97)
第一节 基本原理 .....	(97)
第二节 模拟退火算法计算参数说明 .....	(103)
第三节 应用中需要注意的若干问题 .....	(107)
<b>第八章 基于目标的河道模拟</b> .....	(112)
第一节 基本原理 .....	(112)
第二节 Flusim 算法计算参数说明 .....	(127)
第三节 Flusim 算法在商业化软件中的应用 .....	(130)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(136)
<b>第九章 Snesim 模拟算法</b> .....	(139)
第一节 基本原理 .....	(139)
第二节 Snesim 算法计算参数说明 .....	(143)
第三节 Snesim 算法在商业化软件中的应用 .....	(146)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(149)
<b>第十章 相模型后处理</b> .....	(151)
第一节 基本原理 .....	(151)
第二节 后处理计算参数说明 .....	(154)
第三节 后处理算法在商业化软件中的应用 .....	(156)
第四节 应用中需要注意的若干问题 .....	(157)
<b>参考文献</b> .....	(160)



# 第一章 去丛聚方法

油气储层是一系列复杂的地质过程相互作用所形成的,通常具有很强的非均质性。特别是我国油藏以陆相碎屑岩沉积储层为主,具有沉积相变快、储层非均质性严重的特点。这种储层分布不均、非均质性严重的特点导致了井位设计的不规则性,有利储层是优先考虑的目标。这样也就导致了获取的地质数据在分布上的不规则性。在有利储层的部位,开发井会很密集,从而可以获取大量相关数据;而在不利储层的分布范围内,由于储层预测的不准确等原因只有少量的开发井及个别探井,从而获取的地质数据十分有限。这种不均匀的地质数据分布如果不加以重视,会导致统计的结果无法真正代表实际数据分布的情况。储层随机建模技术目前在国内已经得到越来越广泛的应用,建立相模型很重要的一个输入参数就是各种沉积微相所占的比例。由于井位分布的不规则性,多数井会集中分布在有利相带上,从而导致了统计结果中形成好储层的微相比例偏大,进而会导致模拟结果过于乐观,计算的地质储量偏大。为了解决这一问题,可以采用去丛聚方法,其基本思想是对数据分配不同的权值,让密集的数据获得较小的权值,而稀疏的数据获得较大的权值。

## 第一节 基本原理

去丛聚方法是对原数据用权系数进行校正,以消除数据分布的不均匀性对统计结果的影响,使统计结果具有较好的代表性,最终得到去丛聚权重,为后续有效模拟提供保障。

大多数的等值线算法或作图算法会自动地校正这些丛聚。密集的数据占据较少的网格节点,因此就被分配较小的权值;稀疏的数据就占据更多的网格节点,从而分配较大的权值。由普通克里金生成的图像能够有效地消除丛聚的影响。

尽管现代随机建模算法是建立在克里金插值算法基础之上的,但它们不能校正丛聚数据对目标直方图的影响。这些算法要求分布模型(直方图)能够代表被模拟的整个研究区。因此,需要对数据进行去丛聚处理。去丛聚方法有多边形去丛聚方法(Polygonal Declustering)和网格去丛聚方法(Cell Declustering),下面介绍这两种去丛聚处理方法的基本原理。

### 一、多边形去丛聚方法

多边形去丛聚方法类似于储量计算中的面积加权平均法。密集的数据点控制的面积小,因此权值就小;而稀疏的数据点控制的面积大,因此权值就大。该方法非常直观,易于理解(图1-1)。需要注意的是边界问题,当数据点正好位于边界上的时候,可能得不到正确的权值,通常可以采用把边界适当外扩的方法解决。

该方法的具体做法是:首先找到数据点两点之间最短的距离;然后根据这个最短距离建立密网格,例如选择最短距离平方根的一半作为密网格大小;把每个密网格分配给距离它最近的那个数据点;最后统计每个数据点有多少个密网格,该数据点的权值与分配到的密网格个数成

正比,大小等于分配到的密网格数除以总的密网格数。设有  $N$  个数据点,则用该方法确定的权值为:

$$w_i = \frac{A_i}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

式中  $A_i$ ——根据某个数据点所建立的多边形的面积,  $i = 1, 2, \dots, n$ ;

$w_i$ ——权值,权值在 0 和 1 间取值,且有  $\sum_{i=1}^n w_i = 1, i = 1, 2, \dots, n$ 。

多边形去丛聚方法非常直观,易于理解,但多边形的确定却没有比较合理的方法。针对这一问题,李少华、刘远刚等提出了采用泰森多边形来确定每口井控制范围的边界,对多边形去丛聚方法加以改进,使计算每个数据点控制面积的过程更加稳健,并具有较高的计算效率。下面简述该方法的基本原理。

1911 年,荷兰气候学家 A. H. Thiessen 提出了一种根据离散分布气象站的降雨量来计算平均降雨量的方法:将所有相邻气象站连成三角形,作这些三角形各边的垂直平分线,于是每个气象站周围的若干垂直平分线便围成一个多边形,用这个多边形内所包含的一个唯一气象站的降雨强度来表示这个多边形区域内的降雨强度,并称这个多边形为泰森多边形(图 1-2)。图中实线构成的多边形就是泰森多边形。泰森多边形也称为 Voronoi 图或 Dirichlet 图。

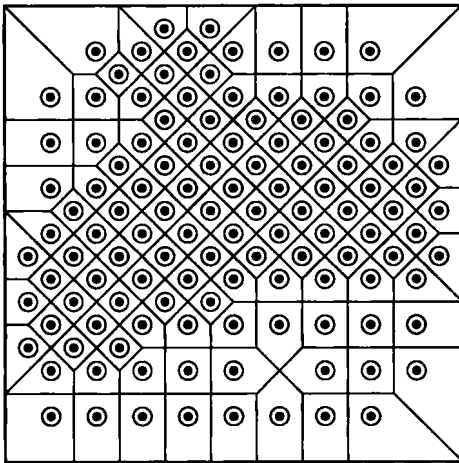


图 1-1 多边形去丛聚方法原理

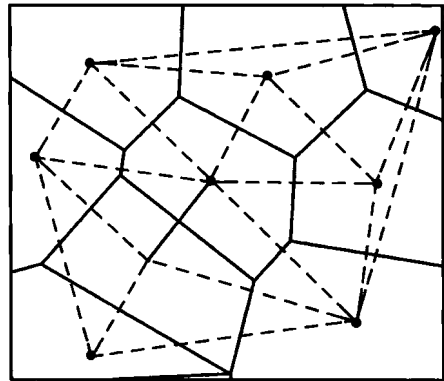


图 1-2 泰森多边形的确定

泰森多边形具备三个方面的性质:

- (1) 每个泰森多边形内仅含有一个离散点数据;
- (2) 泰森多边形内的点到相应离散点的距离最近;
- (3) 位于泰森多边形边上的点到其两边的离散点的距离相等。

基于以上特性,泰森多边形被广泛应用于定性分析、统计分析、邻近分析等。例如,可以用离散点的性质来描述泰森多边形区域的性质,可以用离散点的数据来计算泰森多边形区域的数据等。

目前构造二维平面点集泰森多边形的算法很多,大致可分为两大类:直接法与间接法。常用的直接法有:半平面法、增量构造法、分治法、减量算法和平面扫描法等;间接法与此相对,首先进行平面点集的三角剖分,然后由剖分后的三角形生成泰森多边形图。间接法具有思路简单、生成速度快、易于实现等优点,是目前常用的方法。该方法的主要步骤为:

(1) 离散点自动构建三角网,即构建 Delaunay 三角网。对离散点和形成的三角形编号,记录每个三角形是由哪三个离散点构成的。

(2) 找出与每个离散点相邻的所有三角形的编号,并记录下来。这只要在已构建的三角网中找出具有一个相同顶点的所有三角形即可(图 1-3)。

(3) 对与每个离散点相邻的三角形按方向排序。

(4) 计算每个三角形的外接圆圆心。根据每个离散点的相邻三角形,连接这些相邻三角形的外接圆圆心,即得到泰森多边形。

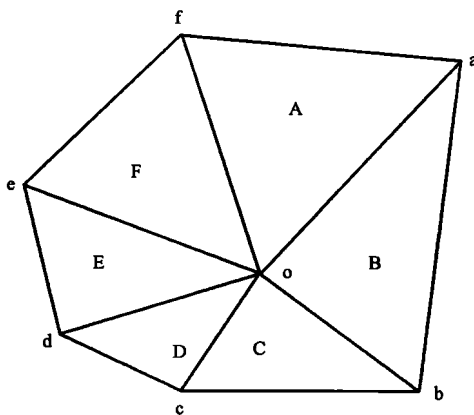


图 1-3 三角网

无论采用什么方法进行地质数据去丛聚,其基本思想都是给密集的数据以较低的权值,而给稀疏的数据较大的权值。泰森多边形代表对应点在空间上的势力范围,其面积的大小与对应点的权值正相关,即密的数据点控制的面积小,因此权值就小;而稀疏的数据点控制的面积大,因此权值就大。根据泰森多边形的性质可以看出,每个多边形内的任意点到相应数据点的距离最近,所以用泰森多边形来确定其对应数据点的控制面积是符合地质数据空间分布规律的。各数据点权值的计算方法如下:

假若有一块总面积为  $S$  的研究区,其中共有  $N$  个数据点。每个数据点的地质变量数据值为  $z_i (i=1, 2, \dots, N)$ , 分别建立每个数据点的泰森多边形,并求出各个多边形的面积  $s_i (i=1, 2, \dots, N)$ ; 则每个数据点所对应的权值  $\lambda_i (i=1, 2, \dots, N)$  为该数据点所在泰森多边形面积  $s_i$  与研究区总面积  $S$  之比,即:

$$\lambda_i = \frac{s_i}{S}$$

## 二、网格去丛聚方法

网格去丛聚方法是最常见的一种降低地质数据丛聚效应的方法,能够让不规则分布的数据更合理地反映数据真实的分布。其核心就是给丛聚在一起的地质数据分配较小的权值,给稀疏分布的数据分配较大的权值。该方法具有一定的适用条件,就是事先要知道丛聚的数据是分布在高值区还是低值区。如果丛聚的数据与没有丛聚的数据之间没有明显的差别,那么利用本方法的意义不大。

网格去丛聚法的实现步骤为:

(1) 将研究区划分为  $L$  个网格;

(2) 计算工作区网格数  $L_0 (L_0 \leq L)$ , 每个网格中落入数据的个数  $n_{l_0} (l_0 = 1, \dots, l_0)$  且

$$\sum_{l_0=1}^{l_0} n_{l_0} = n \text{ 也即所有数据个数;}$$

(3) 根据落入同一网格中数据的数目来给每个数据分配权值, 例如有  $i$  个数据落入网格  $l (l \in [0, L_0])$ , 网格去丛聚法的权值为  $w_i^{(c)} = \frac{1}{n_i \cdot L_0}$ 。

权值  $w_i (i=1, \dots, n)$  都在 0 和 1 间取值, 且有  $\sum_{i=1}^n w_i^{(c)} = 1$ 。权值与每个网格中数据个数成反比: 网格中只有一个数据时权重为  $1/L_0$ , 网格有两个数据时权值为  $1/(2L_0)$ , 网格中有三个数据时权值为  $1/(3L_0)$  等等, 依此类推。

图 1-4 就是网格去丛聚方法过程的说明。将研究区划分为 36 个网格, 有 33 个网格被井钻遇。在每个被钻遇网格中统计数据点的个数, 图 1-4 给出了最后一列网格中数据的权值。

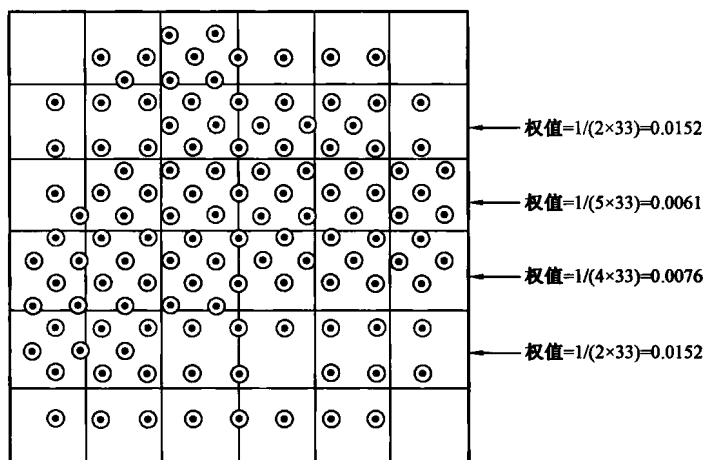


图 1-4 网格去丛聚方法原理

权值取决于网格大小和网格的原点。值得注意的是, 网格去丛聚方法中网格的大小并不是地质建模或数模中的网格大小。定义一个中等的网格就可以去分配去丛聚权值。当网格很小时, 每个数据都会占据一个网格 ( $L_0 = n$ ), 那么它们就会分配到相同的权值; 当网格过大时, 所有数据都会落到同一网格中 ( $L_0 = 1$ ), 也会得到相等的权值。对于网格大小、形状等的选择都是要进行敏感性研究, 可以考虑下面的建议:

(1) 当所有井都是垂直的(或近于垂直的), 选择 2D 网格去丛聚方法; 当出现水平或高度倾斜的井时, 采样点可能会集中在某一段地层, 需要考虑 3D 网格去丛聚方法。

(2) 网格大小取决于数据的几何构形。根据优先抽样的主要方向来调整网格形状。例如, 并在  $x$  方向间隔比  $y$  方向上的更小, 那么  $x$  方向网格大小应该变小。

选择网格大小, 使稀疏样品区尽量满足每个网格都有数据。通过适当改变网格大小, 对计算结果进行灵敏性分析。如果计算结果出现很大的波动, 则很可能说明个别具有极高值或极低值井的去丛聚权值发生了变化。

在老油田往往数据较多, 在高值或低值区已经过度采样了, 因此可以根据已得到最小(或

最大)加权平均值的权值确定相应的网格大小,绘制网格大小与去丛聚加权平均值的散点图。如果数据丛聚在高值区,就选择最小去丛聚平均值对应的网格大小;否则,就选择最大去丛聚平均值对应的网格大小。

必须设置网格去丛聚方法的网格起点和网格数  $L$ ,以保证所有数据都包含在网格内。设置网格大小和改变网格起点都会得到不同的去丛聚权值。为了消除这种假象,对于同一网格就要考虑多个不同起始位置  $N_{\text{origin}}$ ,网格去丛聚法的权值就是对应每个原点偏移量权值的平均值。

## 第二节 去丛聚方法计算参数说明

以斯坦福大学编写 GSLIB 开源算法库中的算法参数为例,介绍网格去丛聚方法计算中各参数的具体意义。表格中参数均为 GSLIB 源程序中的变量名,按照参数文件中顺序排列。

表 1-1 为参数文件。表 1-2 为网格去丛聚计算参数说明。

表 1-1 参数文件

Parameters for DECLUS	
START OF PARAMETERS:	
../data/cluster.dat	\file with data
1 2 0 3	\columns for X,Y,Z, and variable
-1.0e21 1.0e21	\trimming limits
declus.sum	\file for summary output
declus.out	\file for output with data & weights
1.0 1.0	\Y and Z cell anisotropy (Ysize = size * Yanis)
0	\0 = look for minimum declustered mean(1 = max)
24 1.0 25.0	\number of cell sizes, min size, max size
5	\number of origin offsets

表 1-2 网格去丛聚计算算法的参数说明

参数名称	参数类型	参数意义
datafl	字符型	输入的数据文件名可以是绝对路径,也可以为相对路径。同一目录下可以不需要路径
ix	整型	数据文件中采样点 $x$ 坐标位于第几列
iy	整型	数据文件中采样点 $y$ 坐标位于第几列
iz	整型	数据文件中采样点 $z$ 坐标位于第几列
ivr	整型	数据文件中变量位于第几列
tmin	实型	数据的裁剪。读入数据时,数据文件中的变量值大于 tmax 或小于 tmin 后去掉此类数据,重新读下一行
tmax	实型	

续表

参数名称	参数类型	参数意义
sumfl	字符型	包含不同网格大小及对应期望值的文件
outfl	字符型	计算得到的结果文件,包含原始数据及计算得到的权重
anisy, anisz	实型	定义网格的形态,下面的 cmin 和 cmax 为 $x$ 方向网格大小, $y$ 方向的网格大小为 $x$ 方向网格大小 $\times$ anisy, $z$ 方向同理
minmax	逻辑型	将整个研究区进行不同网格大小的划分,不同的网格大小可以求取不同的期望值,通过最大或者最小期望值可以得到去丛聚权重,minmax = 0 即求取最小期望值,minmax = 1 即求取最大期望值
ncell	整型	去丛聚计算中,分 ncell 个网格尺寸对整个研究区进行计算,即计算多少次去丛聚期望值
cmin	实型	相对于 ncell, cmin 为最小 cell 的尺寸
cmax	实型	cmax 为最大的 cell 尺寸
noff	整型	网格起点的偏移次数(防止数据点正好落在网格边界上)

### 第三节 去丛聚算法在商业软件中的应用

目前商业化软件还没有直接的去丛聚功能,下面介绍由 Alberta 大学研制的去丛聚 Petrel 插件。该插件可以整合到 Petrel 软件中,实现数据去丛聚分析。Petrel 建模软件目前在石油行业得到广泛应用,利用插件技术能够迅速地将一些新技术、新方法在商业化软件上实现,增强商业化软件的功能,推进新技术的应用。

斯伦贝谢公司在 Petrel 2007 发布了一个应用编程接口,叫做 Ocean。Ocean 为用户提供一个二次开发平台,可以把自己的算法加进 Petrel,并且具有类似于 Petrel 的用户界面。这意味着可以把一些新的算法做成插件加进 Petrel 软件, Petrel 软件用户可以利用插件使用这些新的算法。Ocean 可以访问、读取许多 Petrel 内部数据和对象,并且可以修改某些已有的对象和生成新的对象,这些对象能够在 Petrel 内存储。

在开发插件之前,需要把原来的去丛聚 Fortran 程序改写为动态链接库 DLL,这些 DLL 在插件中会被调用。当然也可以直接在插件中利用 C# 开发相应的去丛聚算法模块,不过改写成 DLL 是一种简单、快速的实现方法,避免了重复性工作。调用 DLL 的时候,需要传递一组参数,包括输入数据、计算及输出结果时的相关参数等。DLL 中去丛聚的代码如下,给出了需要的输入、输出参数以及它们的变量类型和位置。

```
subroutine declus( ndata, x, y, z, v, numcells, cellmin, cellmax, numoff, yanis, zanis, tmin, tmax,
option, dtype, cellsize, cellsizes, mean, means, weights, ierror)
! DEC $ATTRIBUTES DLLEXPORT :: declus
! DEC $ATTRIBUTES DECORATE, ALIAS: 'declus' :: declus
use gstype
implicit none
```

```

integer( IP ), intent( in ) :: ndata , numcells , numoff , option , dtype
real( RP ), intent( in ) :: x( ndata ) , y( ndata ) , z( ndata ) , v( ndata )
real( RP ), intent( in ) :: cellmin , cellmax , yanis , zanis , tmin , tmax
integer( IP ), intent( out ) :: ierror
real( RP ), intent( out ) :: cellsize , cellsizes( numcells ) , mean , means( numcells )
real( RP ), intent( out ) :: weights( ndata )
interface declusEng
  subroutine declusEng( x , y , z , v , numcells , cellmin , cellmax , numoff , yanis , zanis , tmin , tmax , option , dtype , cellsize , cellsizes , mean , means , weights , ierror )
  use gstype
  implicit none
  real( RP ), intent( in ) :: x( : ) , y( : ) , z( : ) , v( : )
  real( RP ), intent( in ) :: cellmin , cellmax , yanis , zanis , tmin , tmax
  integer( IP ), intent( in ) :: numcells , numoff , option , dtype
  integer( IP ), intent( out ) :: ierror
  real( RP ), intent( out ) :: cellsize , cellsizes( : ) , mean , means( : )
  real( RP ), intent( out ) :: weights( : )
  end subroutine
end interface
call declusEng( x , y , z , v , numcells , cellmin , cellmax , numoff , yanis , zanis , tmin , tmax , option , dtype , cellsize , cellsizes , mean , means , weights , ierror )
end subroutine declus

```

例如,输入到 DLL 的有 4 个一维数组( $x$ 、 $y$ 、 $z$  和  $v$ )、5 个整数和 6 个实数。数据和参数是如何传递和返回的,对于用户来说是不可见的。所有的数据格式化、转换以及操作均在 Petrel 的插件内完成,用户不需要进行任何的前后处理。

在 Petrel 中,插件提供数据处理和去丛聚的界面,并完成相应的操作。它从用户那得到输入请求,读取 Petrel 内的数据,调用 DLL 进行计算,并从 DLL 那得到输出结果,然后保存输出为 Petrel 的对象,方便结果的显示等。

插件采用 C# 开发,下面是建立插件与 DLL 之间连接的 C# 代码。

```

class dll_declus
{
  [DllImport( "ccgEng.dll" )]
  public static extern void declus(
    [ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int ndata ,
    [ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double[ ] dataArrayX ,
    [ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double[ ] dataArrayY ,
    [ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double[ ] dataArrayZ ,
    [ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double[ ] dataArrayVar ,

```

```

[ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int numberCells ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double cellMin ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double cellMax ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int numberOriginOffsets ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double YcellAnisotropy ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double ZcellAnisotropy ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double tmin ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double tmax ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int declusOption ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int declusType ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double optsize ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double [ ] declusCellSizes ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. R8 ) ] ref double optmean ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double [ ] declusMeans ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. LPArray ) ] double [ ] declusWeights ,
[ MarshalAs( UnmanagedType. I4 ) ] ref int ierror
);
}
    
```

参数的顺序与 Fortran DLL 中的顺序必须完全一致,这样 Petrel 的插件才能够准确地知道需要把哪些参数传递到 DLL。

排序插件(Declustering)可以在 Petrel 里的 Process 和 Workflow 菜单里运行。在 Process 或是 Workflow 菜单双击相应的图标就可以打开用户界面(图 1-5)。

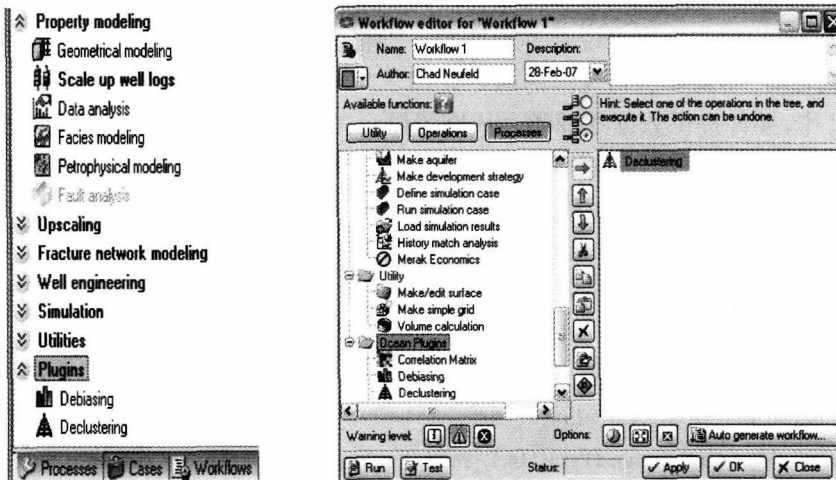


图 1-5 Petrel 中调用插件(据 Centre for Computational Geostatistics, 简称 CCG, 2007)

图 1-6 为插件运行后的界面,图中参数含义如下:

(1) PillarGrid Property: 选择需要去丛聚的属性数据体,操作风格与 Petrel 软件一致,可以



选中属性数据体后直接按左边箭头进行输入。

(2) Status: 用来检测输入的数据体是否为粗化后的数据, 如是则显示为 upscaled, 否则为 not upscaled。

(3) Declus Object: 去丛聚结果对象。

(4) Name 复选框: 选择是否命名输出结果对象。

(5) Trimming limits:

① use 复选框: 选择表示需要进行数据的截断, 不选则不进行截断。

② min, max: 表示当应用截断时的最小值和最大值。

(6) Grid Specifications:

① cell anisotropy: 定义网格的非均质性, 即  $y$  方向与  $x$  方向比值  $y/x$ 、 $z$  方向与  $x$  方向比值  $z/x$ 。

② cell size range: 网格去丛聚法中网格的大小, min、max 分布表示最小和最大网格。

③ number of cell sizes: 不同网格大小的个数。

④ origin offsets: 原点处的偏移, 以消除数据正好落在网格边界上的影响。

(7) Declustering: 根据数据分布特点, 如果是高值数据丛聚, 则需要选择 minimum mean; 反之, 如果是低值数据丛聚, 则需要选择 maximum mean。

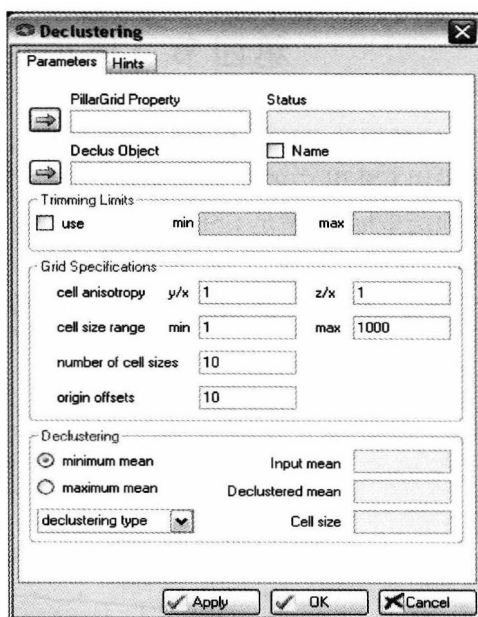


图 1-6 插件界面(据 CCG,2007)

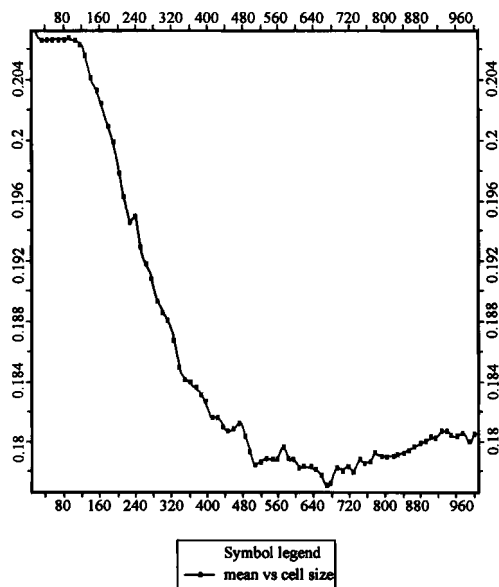


图 1-7 计算结果(据 CCG,2007)

(8) declustering type 下拉框: 用于选择去丛聚的方法, 即网格去丛聚方法和多边形去丛聚方法。

(9) Input mean: 计算输入数据的算术平均值。

(10) Declustered mean: 去丛聚后的加权平均值。

(11) Cell size: 计算最优权值对应的网格大小。

图 1-7 为计算的一个结果, 说明了加权均值随着网格大小不同而产生的变化。输入结果被存入 Petrel 软件中的一个自定义对象, 该对象可以利用 Petrel 软件中的二维图进行显示。