



藏管理丛书

CAMBRIDGE

实用地质统计学

— SGeMS 用户手册



APPLIED GEOSTATISTICS
WITH SGeMS
A USER'S GUIDE

[英] Nicolas Remy Alexandre Boucher Jiangbing Wu 著

刘 焯 郭 超 肖忠祥 程国建 译

石油工业出版社

石油藏管理丛书

实用地质统计学 ——SGeMS 用户手册

[英] Nicolas Remy Alexandre Boucher Jiangbing Wu 著
刘 焯 郭 超 肖忠祥 程国建 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书主要为实用地质统计学的 SGeMS 软件的相关内容,对石油工业、环境工程以及采矿业的从业者来说是一本重要的用户指南手册,此外对于遥感、地理、生态学、水资源等相关领域的研究生、教师、科研人员具有十分重要的参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

实用地质统计学:SGeMS 用户手册 / (英) 尼古拉斯·里米 (Nicolas Remy) 等著;刘焯等译. — 北京:石油工业出版社,2018.1

(国外地质模型与油藏管理丛书)

书名原文: Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide

ISBN 978-7-5183-1961-9

I. ①实… II. ①尼… ②刘… III. ①地质统计学-应用软件 IV. ①P628-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 214848 号

Applied Geostatistics with SGeMS: A User's Guide, 1st edition (978-1-107-40324-6) by Nicolas Remy, Alexandre Boucher, Jianbing Wu first published by Cambridge University Press 2009
All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

©Cambridge University Press & Petroleum Industry Press 2017

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press and Petroleum Industry Press.

This edition is for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong SAR, Macau SAR and Taiwan Province) only.

此版本仅限在中华人民共和国境内 (不包括香港、澳门特别行政区及台湾地区) 销售。

本书经 Cambridge University Press 授权石油工业出版社有限公司翻译出版。版权所有,侵权必究。北京市版权局著作权合同登记号:01-2017-8938

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: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523562

图书营销中心: (010) 64523633

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2018 年 1 月第 1 版 2018 年 1 月第 1 次印刷

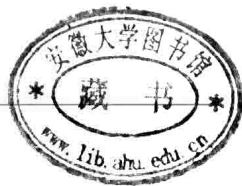
787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 13.75

字数: 330 千字

定价: 60.00 元

(如发现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究



《国外地质模型与油藏管理丛书》

编 委 会

主 任：屈 展

副 主 任：方 明 肖忠祥 陈军斌 程国建

主 审：屈 展 方 明

编 委：陈军斌 程国建 肖忠祥 章卫兵

王俊奇 韩继勇 张 益 林加恩

魏新善 曹 青 闫 健 张国强

双立娜 李小和 刘 焯 李 中

译者前言

随着高新技术的发展及管理理念的更新,进入21世纪的油气工业面临诸多挑战,如从定性地质构造观察到定量建模描述、从微观结构分析到油藏三维可视化展布、从历史拟合到油藏自动监测、从分散管理到集成式优化管理、从单一数据源到多异构数据体的大规模集成应用等。这些转型的根本目标还是油气生产率的提升以及对安全环保等因素的考量,为了应对这些挑战,西安石油大学组织专家、学者翻译了8本相关外文原版专著,形成《国外地质模型与油藏管理丛书》,本套丛书各分册为《集成油藏资产管理——原理与最佳实践》《油藏流线模拟——理论与实践》《实用地质统计学——SGeMS用户手册》《地球科学中的不确定性建模》《石油地质统计学》《岩石物理特性手册》《油藏模拟——历史拟合及预测》《油藏监测》,本丛书受到西安石油大学出版基金,陕西省工业攻关计划项目“致密油藏压裂水平井关键技术研究”(2013K11-22),陕西省工业科技攻关项目“鄂尔多斯盆地致密砂岩储层微观尺度智能化表征”(2015GY104),陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目“盐水层二氧化碳封存潜力评估方法研究”(2014JQ5193),西部低渗—特低渗油藏开发与治理教育部工程研究中心和陕西省油气田特种增产技术重点实验室联合资助。

此分册《实用地质统计学—SGeMS用户手册》大部分内容由刘焯博士翻译,程国建与肖忠祥两位教授对全书进行了统稿及校对。由于译者专业知识及外文水平所限,难免在原文理解、语义阐释、文字表达方面不够准确,甚至出错,诚恳希望读者朋友多提宝贵意见和建议。联系方式:西安石油大学数字油田研究所, dofi@xsyu.edu.cn。

译者

《实用地质统计学—— SGeMS 用户手册》简介

Stanford Geostatistical Modeling Software (SGeMS) 是一个用于解决空间相关变量中所涉及问题的开源计算机软件包。它为地球统计学从业者提供了一个用户界面友好、交互式 3D 可视化以及可供广泛选择的多样算法。SGeMS 在不到两年时间内取得了超过 12000 次下载数量，在多个研究组以及公司中使用。

本书通过一步一步的导航来教会我们如何使用 SGeMS 算法。其中还会解释基本理论、讨论它们的潜在限制、并帮助用户从多个算法中理性选择自己需要的算法。用户还能够通过嵌入的脚本语言来完成一个复杂的任务，并且还能通过 SGeMS 的插件机制来开发与集成新的算法。SGeMS 是第一个能够提供多点统计学的软件，本书还会对地质统计学算法的相关理论及应用进行最新的讨论。

本书合并了整个 SGeMS 软件，对环境工程、采矿业以及石油工业的从业者来说是一本重要的用户手册；此外，对于遥感、地理、生态学、水资源等相关领域的研究生以及教师来说也十分重要。新用户或高级用户都能够在本书中学会如何使用软件以及更普遍的地质统计学相关的实践信息。SGeMS 软件导航请访问 www.cambridge.org/9781107403246。

Nicolas Remy 在法国南锡的国立高等矿业学校获得学士学位，随后在斯坦福大学获得了石油工程硕士学位以及地质统计学博士学位。目前，他在 Yahoo! 公司作为高级统计分析师，带领了 Yahoo! Media, Yahoo! Communications 以及 Communities business units 的数据挖掘组与用户行为建模组。他的研究领域包括多点地质统计学、机器学习、图像理论以及数据挖掘。

Alexandre Boucher 在加拿大蒙特利尔综合理工学院获得地质工程专业的工科学士学位，并在澳大利亚布里斯班的昆士兰大学获得哲学硕士学位，随后在斯坦福大学获得博士学位。他目前在斯坦福大学的环境地球系统科学系中教授地质统计学课程，并在美国与日本教授一些短期课程。他的研究领域包括地质统计学、数据集成、遥感技术、不确定性建模、机器学习以及失控现象的概率性建模。

Jianbing Wu 于 2007 年在斯坦福大学获得石油工程博士学位，他的机械工程硕士以及学士学位均在中国科学技术大学取得。他目前是 ConocoPhillips 的应用油藏工程组的油藏工程师。而他的研究主要集中于静态和动态油藏建模，他还是 SPE, IAMG 以及 SEG 会员。

原书序

地质统计学是一门科学而不是一门艺术。

地质统计学并不仅是简单地将统计学方法应用于地质驱动空间分布中，从地球科学这种往往不完整的数据到数据关系中，地质统计学还提出了一个概念化框架来对其作出推论。

有些人可能会说，地质统计学中大多数问题都是反演问题，该数据意义在于推论出先验模型的参数。然而，在反演问题与地质统计学问题之间存在有一个鸿沟：反演问题建模时，面对的观测数据往往是信息密集的，而先验模型往往非常简单（或者过分简单）；在地质统计学问题中，数据直接与模型参数相关，这将会允许我们能够去处理包含有实际地球属性的这种先验模型，这种模型中有时可能会带有惊人的实际因素。这个鸿沟实际并不算巨大，但是在近期发展中是不会消失的。暂时，我们仍然要尽量在两个领域中尝试做到最好。

大多数地质统计学的求解方法中都涉及随机函数，但随着高斯模型的最初使用，随机函数在很长一段时间被滥用。斯坦福大学团队推动了许多非高斯方面的最初发展，很多现在都已经成为标准概念。他们目前着重于研究多点地质统计学概念与其相关算法，我们能够使用它们来定义一个真实复杂的随机函数。

如果一个画家没有画笔或者没有画板，那么他（她）们就无法完成艺术作品。这里也是一样：为了处理复杂问题中所需要的复杂先验信息并规划出实际解决方案，我们需要一个计算机软件。地质统计学中的公式可以写在纸上，但是即使是最简单的应用也需要专业的计算机软件。这也是斯坦福大学 Geostatistical Modeling Software (SGeMS) 的出众之处。通过本书，读者可以学会如何使用该软件来解决此类重大的问题。

在斯坦福大学与油藏预测中心中诸位同仁相处的这段日子弥足珍贵，其中还有我的好友，也是本书的作者 André Journel。有这本书在我身边就好像我仍然在斯坦福大学一样。

Albert Tarantola
于 Pasadena 市

原书前言

本书并不是一本地质统计学及其理论的介绍书。而仅仅是回顾一些地质统计学的要素，文中假定读者对于地质统计学主要概念具有一定的认识水平：随机函数概念、稳态性或者变差函数这些词汇并不会让其感到疑惑。

本书的主要目标在于支持 Stanford Geostatistical Modeling Software (SGeMS)，并且希望读者能够依靠本书来增强对于地质统计学的理解，并不仅局限于其理论，而是能够将其推广到多样性应用中。在这个观点下，重点就会落在实际应用方面（在什么环境下，算法的执行会脱离理论，在算法执行中，其假设条件与应用限制究竟是什么）。本书也并不是一本 SGeMS 编程的参考手册，它并不包含有任何 SGeMS 源代码相关细节或 API。如果你对于学习 SGeMS 代码有兴趣，请参阅 SGeMS 的网站 <http://segms.sourceforge.net>，其中会描述 SGeMS 的 API 与一些向导。

SGeMS 作为一个地质统计学工具，为了面对诸多不同的问题而被设计为具有足够的灵活性。伴随而来的大量控制参数会令初学者望而却步。不要害怕！大多数高级参数直接使用默认值即可，了解这些参数最好的方法是重复运行实例并靠试验来测试它们。

虽然 SGeMS 中大多数的工具都基于经典地质统计（克里金、高斯模拟、指示模拟等），但是本书的一大部分内容确实在介绍多点统计学的概念。多点统计学属于一个新兴的、有前途的地质统计学领域，其基本理论可通过文中对其细节的表述而得到阐释，本书中将会详细描述两个多点统计学算法。

本书的酝酿期较长。伴随着一个简单的展示软件，通用地质统计学编程库 (GsTL 库) 的概念能够追溯到 2011 年，与 École Nationale supérieure de Géologie (法国) 的 Arben Shtuka 教授合作开展，并由斯坦福大学的 Jef Caers 教授支持。所谓的简单软件却会陷入一个非常复杂的编程工作。SGeMS 现在已经是一个完全成熟的软件，它能够为地质统计学的新发展提供一个现代的、便利的以及强大的平台。感谢 Jef Caers 与 André Journel，使得 SGeMS 能够在斯坦福大学油藏预测中心 (SCRF) 得到发展，还要感谢工业上的合作伙伴以及其他的合作大学。

感谢 André Journel 的支持，他不知疲倦的引领、专注的监督以及严格的校正工作都对本书起到了重要的作用。还要感谢 Mohan Srivastava 博士、Ricardo Olea 博士以及 Pierre Goovaerts 博士，他们都仔细审阅了早期的手稿并细致地查

询了其中的不一致问题以及软件 bug。Sébastien Strebelle 博士、Sanjay Srinivasan 教授与 Guillaume Caumon 教授对最终版的手稿进行了细致的审阅，在此，一并致谢。最后，我们非常感激 Jef Caers 教授，是他最初起动了 GsTL 项目并始终非常信任它，没有他的支持，SGeMS 是无法完成的。

在设计中，SGeMS 并非一个静态而且完整的软件。我们可以增加新的算法，其基本 API 也可以改变。我们欢迎对于软件的意见、bug 报告、能够增强软件功能的想法或源代码。你可以在 SGeMS 的邮箱列表中提出意见并参考 <http://sgems.sourceforge.net> 来获取更新以及代码文件。

程序列表

勘探数据分析

- Histogram: 直方图和统计值, 63
QQ/pageref-plot: Q—Q 或 P—P 图和统计值, 64
Scatter-plot: 散点图和统计值, 65
Variogram: 变差函数计算与建模, 67

估 计

- BKRIG: 块克里金, 94
COKRIGING: 带有次数据的克里金, 44
INDICATOR KRIGING: 指示克里金, 86
KRIGING: 克里金, 83

模 拟

- BESIM: 块误差模拟, 125
BSSIM: 块序贯模拟, 120
COSGSIM: 序贯高斯协同模拟, 106
COSISIM: 序贯指示协同模拟, 117
DSSIM: 直接序贯模拟, 109
FILTERSIM: 基于过滤器的模拟, 147
LUSIM: LU 模拟, 102
SGSIM: 序贯高斯模拟, 103
SISIM: 序贯指示模拟, 113
SNESIM: 单正态方程模拟, 129

用 途

- BCOVER: 块协方差计算, 174
IMAGE PROCESSING: 图像处理, 177
MOVING WINDOW: 滑动窗口统计, 179
NU-TAU MODEL: 混合条件概率, 172
POSTKRINGING: 克里金估计的后处理, 168
POSTSIM: 实现的后处理, 170
TIGENERATOR: 训练图像生成器, 181
TRANS: 连续直方分布变换, 163
TRANSCAT: 类别直方分布变换, 165

符 号 表

cdf	累积分布函数
E-type	对模拟的实现进行点策略平均所获得的条件期望估计
EDA	基础数据分析
FFT	快速傅里叶变换
GSLIB	地质统计学软件库 (Deutsch and Journel, 1998)
IK	指示克里金
KT	趋势克里金
LVM	带局部变化均值的克里金
M-type	条件中值估计
MM1	马尔科夫模型 1
MM2	马尔科夫模型 2
mp	多点
OK	普通克里金
P—P plot	概率—概率图
pdf	概率密度函数
Q—Q plot	分位数—分位数图
RF	随机函数
RV	随机变量
SGeMS	斯坦福大学地质统计学建模软件
SK	简单克里格
Ti	训练图像
\perp	正交
\forall	Whatever
α, β, γ	方位角、倾角和斜角的旋转角度
$\gamma(\mathbf{h})$	稳态半变差模型
$\gamma(Z(\mathbf{u}_\alpha), Z(\mathbf{u}_\beta))$	任意两个随机变量 $Z(\mathbf{u}_\alpha)$ 与 $Z(\mathbf{u}_\beta)$ 间的半变差值
$\gamma^*(\mathbf{h})$	实验半变差函数
$\gamma^{(l)}$	一个嵌套的半变差函数模型的第 l 个部分
$\gamma_{ij}(\mathbf{h})$	任意两个随机变量 $Z_i(\mathbf{u})$ 与 $Z_j(\mathbf{u}+\mathbf{h})$ 交叉半—变差函数模型
$\gamma_\alpha, \gamma_\alpha(\mathbf{h})$	与基准位置 \mathbf{u}_a 相关的克里金权值, 该权值用于位置 \mathbf{u} 的估计。 当需要区分不同类型的克里金时, 可在上标标注 (SK), (OK), (KT)
Γ	克里金权值矩阵

Λ	缩放矩阵
$\lambda n(\mathbf{u})$	克里金权值的矩阵列
Θ	旋转矩阵
ν_i	第 i 个属性的 nu 参数
ω	一个冥函数的参数或一个伺服系统的因子
$\Phi_{li}(\cdot)$	低尾部外推函数
$\Phi_{ui}(\cdot)$	高尾部外推函数
$\rho(\mathbf{h})$	稳态相关图 $\in [-1, +1]$
σ^2	方差
$\sigma_{SK}^2(\mathbf{u})$	$Z(\mathbf{u})$ 的克里金方差, 当需要区分不同类型的克里金时, 可在上标标注 (SK), (OK), (KT)
T_j^g	第 g 层多层网格的扩展搜索模板
τ_i	第 i 个属性的 tau 参数
T_j	J 个节点的搜索模板
$\bar{C}_{BB'}, \bar{C}(V, \bar{V})$	块到块协方差模型
$\bar{C}_{PB}, \bar{C}(\mathbf{u}, V(s))$	点到点协方差模型
\mathbf{h}	坐标偏移因子或者迟滞因子
\mathbf{h}_j	第 j 个节点在搜索模板中距其中心的偏移量
$Dn(\mathbf{u})$	冗余数据 $n(\mathbf{u})$ 的矩阵列 $z(\mathbf{u}_\alpha)$
D_i	i 个复合数据位置 $\{D_i = d_i, i = 1, \dots, n\}$ 所涉及的数据向量
K	数据到数据平方协方差矩阵
k	数据到未知的协方差矩阵
$prot$	一个分类变量的原型
\tilde{A}	非-A
\mathbf{u}	坐标向量
$\mathbf{u}_\alpha, \mathbf{u}_\beta$	数据位置
V	体积块, 或一个点集合
α	变程参数
$\alpha_i(\mathbf{u})$	趋势模型中成分数量 k 的系数
B	块数据
$B(V_\alpha)$	小写一个体积块 V_α 中的线性平均值
$B_V(s)$	一个以位置 s 为中心的块 V 中的线性平均值
$C(0)$	分割向量 $\mathbf{h} = 0$ 的协方差值。同样是随机变量 $Z(\mathbf{u})$ 的稳态方差
$C(\mathbf{h})$	分割向量为 \mathbf{h} 的两个变量 $Z(\mathbf{u})$ 和 $Z(\mathbf{u} + \mathbf{h})$ 之间的协方差
c_l	第 l 个嵌套的半-协方差模型的方差贡献
C_R	误差方差矩阵
$C_{ij}(\mathbf{h})$	由向量 \mathbf{h} 所分割的任意两个随机变量 $Z_j(\mathbf{u})$ 和 \mathbf{h} 间的交叉协方差
c_{\min}	模式重复次数的最小值

dev	局部条件数据事件
dev_j	由搜索模板 T_j 所寻找到的局部条件数据事件
$E\{ \cdot \}$	期望值
$\text{Exp}(\cdot)$	指数的半—变差函数
F	过滤器的数量
$f(\mathbf{h}_j)$	与第 j 个模板节点相关的过滤器权值
$F(\mathbf{u}, z)$	随机变量 $Z(\mathbf{u})$ 的累积分布函数
$F(z)$	RV 的累积直方分布
$f(z)$	概率密度函数或直方分布
$F^{-1}(p)$	反累积分布函数或概率值 $p \in [0, 1]$ 的分位数函数
f_x, f_y, f_z	$x/y/z$ 每个方向上的缩放因子
F_Z	随机函数 Z 的边缘 cdf
$G(\cdot)$	标准正态累积分布函数
$G^{-1}(p)$	标准正态分位数函数, 如 $G(G^{-1}(p)) = p \in [0, 1]$
h_x, h_y, h_z	$x/y/z$ 方向上的变差函数变程值
$I(\mathbf{u}; z_k)$	位置 \mathbf{u} 处对于截断值 z_k 的二进制指示随机函数
$i(\mathbf{u}; z_k)$	位置 \mathbf{u} 处对于截断值 z_k 的二进制指示数
$I^*(\mathbf{u}; z_k)$	截断值 \mathbf{u} 的指示估计 z_k
$i^*(\mathbf{u}; z_k)$	截断值的指示克里金估计值
$I_{SK}^*(\mathbf{u})$	类别指示器 $I_k(\mathbf{u})$ 的指示克里金估计器
$I_k(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处对于类别 k 来说的二进制指示随机函数
$i_k(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处对于类别 k 来说的二进制指示值
K	类别的数量
L_α	一个已知的线性平均方程
M	一个 RF 的中值
m	一个随机变量的中值
$m(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处的中值函数; 随机变量 $Z(\mathbf{u})$ 的期望值; 或分解 $Z(\mathbf{u}) = m(\mathbf{u}) + R(\mathbf{u})$ 的趋势成分模型, 其中 $R(\mathbf{u})$ 是成分模型的冗余
$m^*(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处趋势成分或局部变化均值的估计
$N(\mathbf{h})$	由向量 \mathbf{h} 所分割的数据对数量
$n(\mathbf{u})$	以 \mathbf{u} 为中心的邻域中所能找出的 n 个条件数据
n_k	中心具有特定值 k 的模式数量
P	点数据
p	概率值
P_k^c	到当前为止所模拟类别 k 的比例
P_k^t	类别 k 的目标比例
P_0	事件发生的先验概率
pat	训练模式
$\text{Prob} \{ \cdot \}$	概率函数

$prot$	连续变量的原型
$q(p) = F^{-1}(p)$	概率值 $p \in [0, 1]$ 的分位数函数
$R(\mathbf{u})$	在分解缺中位置 \mathbf{u} 处的冗余随机函数模型, 其中 $m(\mathbf{u})$ 为趋势成分模型
$r(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处的冗余值
r^i	旋转区域 i 的倾角旋转角度
$r_s(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处所模拟的冗余值
S	一组位置 \mathbf{u} 的集合, 或一个沉积体
$S_T^k(\mathbf{u})$	由搜索模板 T 所寻找到的模式 $pat(\mathbf{u})$ 的第 k 个过滤器分数值
$Sph(\cdot)$	球形半—变差函数
$t(\mathbf{u})$	训练图像中位置 \mathbf{u} 处的节点值
$V, V(\mathbf{u})$	以位置 \mathbf{u} 为中心的一个块
$Var\{\cdot\}$	方差
x_i	tau 模型中所使用的给定概率值的先验距离
$Z(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处的一般随机变量, 或位置 \mathbf{u} 处的一个一般随机函数
$z(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处的一般变量函数
$z(\mathbf{u}_\alpha)$	位置 \mathbf{u}_α 处的 z 基准值
$Z^*(\mathbf{u})$	$Z(\mathbf{u})$ 的克里金估计器。当需要区分不同类型的克里金时, 可在上标标注 (SK), (OK), (KT)
$z^*(\mathbf{u})$	值 $z(\mathbf{u})$ 的估计
$z_E^*(\mathbf{u})$	条件期望, 或 E—类型, 对多个实现 $z_E^*(\mathbf{u})$ 进行点策略算数平均获取
$z_M^*(\mathbf{u})$	M—类型估计值, 其中 $z_M^*(\mathbf{u})$ 有 50% 的概率高于 (或低于) 实际未知值
$z_{Ks}^*(\mathbf{u})$	从模拟值 $z_s^*(\mathbf{u})$ 中建立的克里金估计
$z_{LVM}^*(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处的局部变化均值克里金估计
$z^{(l)}(\mathbf{u})$	随机函数 $Z(\mathbf{u})$ 的第 l 个实现
$z_V^{(l)}(\mathbf{u})$	通过对第 l 个点支持实现 $z^{(l)}(\mathbf{u})$ 进行平均所得到的块 V 的模拟值
z_k	连续属性 z 的第 k 个阈值
$Z_{cs}(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处随机模拟所得到的随机变量
$z_{cs}(\mathbf{u})$	位置 \mathbf{u} 处随机模拟所得到的值

目 录

程序列表	(I)
符号表	(II)
1 引言	(1)
2 概述	(3)
2.1 用户 GUI 图形界面一览	(3)
2.2 使用 SGeMS 进行的一个典型地质统计学分析	(4)
2.2.1 加载数据到 SGeMS 项目中	(6)
2.2.2 勘探数据分析 (EDA)	(7)
2.2.3 变差函数建模	(8)
2.2.4 创建网格	(9)
2.2.5 运行一个地质统计学算法	(10)
2.2.6 显示结果	(11)
2.2.7 用 Python 进行结果的后处理	(15)
2.2.8 存储结果	(16)
2.2.9 任务的自动化处理	(16)
2.3 数据文件格式	(18)
2.4 参数文件	(19)
2.5 定义一个 3D 椭球体	(20)
3 地质统计学：概念回顾	(22)
3.1 随机变量	(22)
3.2 随机函数	(25)
3.2.1 模拟的实现	(26)
3.2.2 估计图 (Estimated maps)	(27)
3.3 条件分布和模拟	(29)
3.3.1 序贯模拟	(30)
3.3.2 评估局部条件分布	(31)
3.4 推断及平稳性	(32)
3.5 变差函数，二点统计学	(36)
3.6 克里金范式	(37)
3.6.1 简单克里金	(38)
3.6.2 普通克里金及其变式	(40)
3.6.3 具有线性平均变量的克里金	(43)
3.6.4 协克里金	(44)

3.6.5	指示克里金	(45)
3.7	MPS 多点统计学简介	(46)
3.8	两点模拟算法	(49)
3.8.1	序贯高斯模拟	(49)
3.8.2	直接序贯模拟	(50)
3.8.3	直接误差模拟	(50)
3.8.4	指示器模拟	(52)
3.9	多点模拟算法	(53)
3.9.1	单正态方程模拟 (SNESIM)	(53)
3.9.2	基于滤波器算法 (FILTERSIM)	(54)
3.10	组合条件概率的 ν/τ 表达式	(55)
3.10.1	ν/τ 表达式	(56)
3.10.2	τ 还是 ν 模型	(58)
3.11	反演问题	(59)
4	数据集与 SGeMS EDA 工具	(60)
4.1	数据集	(60)
4.1.1	2D 数据集	(60)
4.1.2	3D 数据集	(61)
4.2	SGeMS EDA 工具箱	(63)
4.2.1	普通参数	(63)
4.2.2	直方图	(63)
4.2.3	Q—Q 图与 P—P 图	(64)
4.2.4	散点图	(65)
5	变差函数计算与建模	(67)
5.1	SGeMS 中的变差函数计算	(68)
5.1.1	选择头尾属性	(69)
5.1.2	计算参数	(70)
5.1.3	显示计算出的变差函数	(73)
5.2	SGeMS 中的变差函数建模	(74)
6	普通参数输入界面	(76)
6.1	算法面板	(76)
6.2	网格及属性的选择	(76)
6.3	多属性选择	(78)
6.4	邻域搜索	(79)
6.5	变差函数	(79)
6.6	克里金	(80)
6.7	行输入	(80)
6.8	非参数分布	(80)
6.9	参数中的错误	(82)

7 估计算法	(83)
7.1 KRIGING: 一元克里金	(83)
7.2 指示克里金	(86)
7.2.1 连续变量	(86)
7.2.2 分类变量	(88)
7.3 协克里金: 具有二阶数据的克里金	(91)
7.4 块克里金估计	(94)
8 随机模拟算法	(101)
8.1 基于变差函数模拟	(101)
8.1.1 LUSIM: LU 模拟	(102)
8.1.2 SGSIM: 序贯高斯模拟	(103)
8.1.3 COSGSIM: 序贯高斯协同模拟	(106)
8.1.4 DSSIM: 直接序贯模拟	(109)
8.1.5 SISIM: 序贯指示模拟	(113)
8.1.6 COSISIM: 序贯指示器协同模拟	(117)
8.1.7 BSSIM: 块序贯模拟	(120)
8.1.8 BESIM: 块误差模拟	(124)
8.2 多点模拟算法	(128)
8.2.1 SNESIM: single normal equation simulation 单正态方程模拟	(129)
8.2.2 FILTERSIM: filter-based simulation 基于过滤器模拟	(146)
9 应用程序	(163)
9.1 TRANS: 连续直方分布变换	(163)
9.2 TRANSCAT: 类别直方分布变换	(165)
9.3 POSTKRIGING: 克里金估计的后处理	(168)
9.4 POSTSIM: 实现的后处理	(170)
9.5 NU-TAU MODEL: 混合条件概率	(172)
9.6 BCOVAR: 块协方差计算	(174)
9.7 IMAGE PROCESSING: 图像处理	(177)
9.8 MOVING WINDOW: 滑动窗口统计	(179)
9.9 TIGENERATOR: 训练图像生成器	(181)
10 脚本、命令及插件	(187)
10.1 命令	(187)
10.1.1 命令列表	(188)
10.1.2 执行命令文件	(189)
10.2 Python 脚本	(190)
10.2.1 SGeMS Python 组件	(190)
10.2.2 执行 Python 脚本	(191)
10.3 插件	(193)
参考文献	(194)