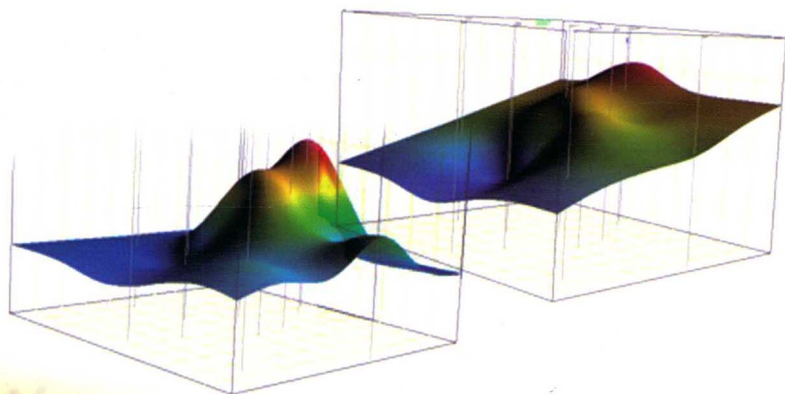


# 基于地质统计学的 地质建模

[俄] E. B. 科瓦列夫斯基 著

刘应如 曹正林 郑红军 冀虎山 译  
袁剑英 审校



石油工业出版社

内容简介

本书共分8章，第1章为绪论，第2章为地质统计学的概念，第3章为地质统计学的原理，第4章为地质统计学的模型，第5章为地质统计学的估计，第6章为地质统计学的预测，第7章为地质统计学的决策，第8章为地质统计学的其他问题。

# 基于地质统计学的地质建模

[俄] E. B. 科瓦列夫斯基 著

刘应如 曹正林 郑红军 冀虎山 译

袁剑英 审校

石油工业出版社

编辑电话：(010) 64232323 发行部：(010) 64232620

地址：北京西城德胜门内大街

邮编：100088

2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

710 × 1000毫米 1/16开本 1.75印张

字数：180千字

定价：38.00元

## 内 容 提 要

本书共分8章:第1章绪论介绍了什么是地质模型,什么又是地质统计学;第2章介绍协方差和变差函数;第3章阐述克里金这种基于使用变差函数的数据点间的确定性内插方法;第4章研究了使用辅助变量的克里金;第5章讨论了随机实现;第6章讲述了非传统地质统计学方法;第7章简单讨论了随机地震反演;第8章是随机实现的应用。

本书可供石油勘探开发相关专业人员参考。

## 图书在版编目(CIP)数据

基于地质统计学的地质建模/[俄罗斯]科瓦列夫斯基(Ковалевский, Е. В.)著;  
刘应如等译. —北京:石油工业出版社,2014.9

ISBN 978-7-5183-0346-5

I. 基…

II. ①科…②刘…

III. 地质模型-建立模型-研究

IV. P628

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第191276号

Geological Modelling on the Base of Geostatistics

Evgeniy Kovalevskiy

Copyright © 2011 EAGE Publications BV, All Rights Reserved

EAGE holds the worldwide copyright of the Work.

The Chinese translation edition is published by arrangement with EAGE.

The work is available in English for purchase from the EAGE bookshop.

本书经EAGE授权翻译出版,中文版权归石油工业出版社有限公司所有,侵权必究。

著作权合同登记号 图字:01-2014-6050

---

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)64523533 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

---

2014年9月第1版 2014年9月第1次印刷

710×1000毫米 开本:1/16 印张:7.75

字数:180千字

---

定价:38.00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

## 作者简介

E. V. 科瓦列夫斯基 (Евгений Валерьевич Ковалевский), 男, 生于 1958 年 1 月。1981 年毕业于莫斯科物理技术学院, 1984 年获俄罗斯科学院海洋研究所硕士学位, 1985—1995 期间就职于拉脱维亚里加市的海洋工程地质研究所, 1991 年获俄罗斯科学院海洋研究所副博士学位。1996 至今, 在俄罗斯中央地球物理研究院 (CGE) DV - Geo 地质建模系统研发部担任主任工程师。发表论文 30 余篇。自 2007 年开始做地质统计学巡回演讲。2011 年秋至今已经在俄罗斯 17 所院校、乌克兰 3 所院校、哈萨克斯坦 2 所院校做过“基于地质统计学的地质建模”巡回演讲。

## 译者的话

2012年7月,俄罗斯中央地球物理研究院(Central Geophysical Expedition)专家E. B. 科瓦列夫斯基来中国石油勘探开发研究院西北分院参加学术交流活动。在此期间,我们翻译了他的宣讲多媒体,发现对地质建模而言这是一份很不错的材料。在此基础上,我们又进一步阅读了他的专著,觉得其整体上容易理解,系统性较强,对从事地质建模专业的人员有较高的参考价值。于是,在中国石油勘探开发研究院西北分院相关领导的支持和关怀下,在石油工业出版社、原书出版方EAGE(European Association for Geoscientists & Engineers)和作者E. B. 科瓦列夫斯基的帮助下,我们完成了这本书的翻译工作。

本书从2012年年底开始筹划翻译、编辑工作,历时约一年半时间。一方面,大家都有自己的本职工作,只能在业余时间来完成这项任务;另一方面,地质统计学与地质建模本身都是综合性较强而又比较前沿的学科,书中内容涉及地震勘探、地球物理测井、开发地质学、油藏工程、统计学、模糊数学等多个学科的知识,因此在翻译过程中不得不查阅大量的中文、俄文、英文资料才能准确把握书中的观点和思想;另外,由于本书专业性较强,同时原书中存在少量的印刷错误,难免造成理解上的偏差,在翻译过程中需要与作者不断地沟通,这些工作都需要耗费大量的时间。需要说明的是,为便于读者理解,对于原书中译者认为有必要补充解释的地方,与作者沟通之后加了脚注予以说明。

本书由中国石油勘探开发研究院西北分院袁剑英教授级高级工程师审校。中国石油大学(北京)吴胜和教授通读了全书并提出了宝贵的意见。另外,译者还咨询了石油勘探开发专业方面及俄语方面的专家及同仁:中国石油勘探开发研究院中亚俄罗斯所高级工程师高书琴、北京环鼎科技有限责任公司中亚俄罗斯区项目经理陈建桥、重庆科技学院石油与天然气工程学院副教授向祖平、中国石油大学(北京)讲师李宇鹏、西南石油大学讲师冯明友、中国石油勘探开发研究院热采所工程师郭二鹏、俄罗斯国立古布金石油天然气大学地质与地球物理系硕士研究生翁琪,以及中国石油勘探开发研究院西北分院工程师段天向、张平、陈更新和助理工程师张婷静等,在此对他们一并表示感谢!

由于译者水平与时间所限,纰漏在所难免,敬请广大读者批评指正。

# 代 序

在1997年日内瓦EAGE年会上,E. B. 科瓦列夫斯基做了题为“模糊地质模型”的学术展板报告。Olivier Dubrule 听完后指出,模糊模型中不确定性的表示与地质统计学中不确定性的表示是相似的。而令人惊讶的是,当时的E. B. 科瓦列夫斯基并不了解任何关于地质统计学的理论。

2005年,E. B. 科瓦列夫斯基将Olivier Dubrule的《地质建模中综合地震数据的地质统计学方法》一书翻译成俄文并出版。此后,E. B. 科瓦列夫斯基开始研究学习不同的学术会议上、大学及其他公司里有关地质统计学的简明材料。后来,他的基于Olivier Dubrule著作所做的讲稿演变成为莫斯科大学(2007年秋季)、莫斯科物理技术学院(2007年至今),以及俄罗斯国立地质勘探大学(2008年至今)的地质统计学课程的教材。该教材中附带了DV-Geo地质建模软件的相关应用知识。许多人逐渐认为,他是坚定的地质统计学拥护者。

然而,对地质统计学而言,E. B. 科瓦列夫斯基又是最激烈的批评家。他认为,地质统计学(关于地质介质的统计均质性方面)的基本假设只有在很少情况下才能满足。在他看来,指示模拟是地质统计学最呆板的一部分,但它是一个“救生圈”,如果没有它,地质统计学也就很难获得成功;“正态得分变换”则是地质统计学的第二个“救生圈”,但也可以举出例子彻底将这个�方法否定;基于目标的模拟——纯粹的试探法,它只是在井数少的区块才奏效;多点地质统计学——在训练图像整体上给得很合适时这种方法的结果才可靠;地质统计学地震反演——用高分辨率资料来预测地质介质的属性,但仅在井附近可以准确地再现实地地震道,这是因为仅在这些地方参与计算的井点数据是真实的,如此等等。得出上述观点,实际上是因为E. B. 科瓦列夫斯基太热衷于自己提出的模糊模型。

2011—2012年,EAGE组织了E. B. 科瓦列夫斯基面向大学生的巡回演讲。事实上,由于对自己提出的理论的钟爱而对其他理论进行的批评仅仅局限于课堂演讲。E. B. 科瓦列夫斯基在认真演讲的同时不厌其烦地重复着:地质统计学是地质建模的先驱。这很容易讲解,因为一些杰出的思想是在它的基础上诞生的。地质建模与油藏数值模拟一体化之后,地质统计学家又取得了一些重要成果,这些内容书中也会涉及。作者希望通过本书让读者了解地质统计学理论,喜欢上它并学会如何应用,当然,也能进行模糊地质建模。

# 前 言

目前可以方便地得到大量地质统计学方面的教材和书籍,任何希望学习它的人都能自学这方面的内容。然而,了解它的最好、最快捷的方法还是去向熟悉这方面知识的人学习。如果你真的想搞明白什么是地质统计学,它的优点和缺点又是什么,在地质建模中它可以提供哪些信息或无法提供哪些信息,那么,这本书正好能为您一一讲述这些内容。笔者也是刚刚经历了艰难的学习历程,曾经学有所得,也曾经犯过错误。

需要注意的是,本书是以 Olivier Dubrule 的著作《地质建模中综合地震数据的地质统计学方法》为基础的。这是什么意思呢?下面将会谈到这个问题。如果您有机会邀请到 Olivier Dubrule,那么立即去做,这将是最好的决定,因为他教给您的不仅仅是地质统计学,就像他曾经教过笔者,现在还继续在教笔者那样。

谈到这本书的编写,笔者觉得用了 Olivier Dubrule 著作中的逻辑和思路,本书中许多插图跟他书中的插图类似,但对于文字部分,笔者通常采用了另外的叙述方式。其原因在于,首先,对于 Olivier Dubrule 著作中所描述的一些问题,笔者至今仍然体会不深;其次,如前面所述,由于主观方面的原因,在笔者看来,地质统计学仍存在一些很有争议的地方;最后,如何表述才能使使学生能最大程度地理解地质统计学,笔者有自己的教学经验和想法。因此,Olivier Dubrule 对本书的内容不必承担任何责任。

对于前言这一部分还需说些什么呢?笔者的主要工作是作为俄罗斯中央地球物理研究院的主任工程师,参与开发 DV-Geo 地质建模软件系统,职责范围包括科学管理地质统计学建模模块的开发及编制用户手册。同时,在工作中笔者遇到的最有趣的那些材料,也都包含在本书中了。在书的后记部分,笔者将表达对同仁们的谢意。

3.4 克里金的标准偏差	(43)
3.5 受实变函数模型约束的克里金的特点	(45)
3.6 交叉验证	(46)
3.7 为什么克里金称为最优内插	(48)

# 目 录

<b>1 绪论</b> .....	(1)
1.1 地质模型的概念及其分级 .....	(1)
1.2 地质建模的阶段 .....	(3)
1.3 地质建模的主要陷阱 .....	(4)
1.4 确定性建模与地质统计学建模 .....	(6)
1.5 教程内容概述 .....	(8)
<b>2 协方差和变差函数</b> .....	(11)
2.1 平均值和方差 .....	(11)
2.2 平稳性 .....	(13)
2.3 第一平稳准则——直方图分析 .....	(15)
2.4 地质统计学的基本描述 .....	(17)
2.5 两个随机变量 $X$ 和 $Y$ 的协方差 .....	(18)
2.6 随机变量 $Z(\mathbf{x})$ 的协方差和变差函数 .....	(19)
2.7 实验变差函数的计算和变差函数模型 .....	(21)
2.8 变差函数的变程、拱高、块金效应及近原点特性 .....	(23)
2.9 变差函数的各向异性和三维空间中的变差函数 .....	(25)
2.10 随机变量的先验模型 .....	(26)
2.11 地质统计学的实质 .....	(28)
<b>3 克里金</b> .....	(34)
3.1 什么是克里金 .....	(34)
3.2 克里金方程组的导出 .....	(35)
3.3 滑动邻域 .....	(43)
3.4 克里金的标准偏差 .....	(43)
3.5 受变差函数模型约束的克里金的特点 .....	(45)
3.6 交叉验证 .....	(46)
3.7 为什么克里金称为最优内插 .....	(48)



3.8	误差协克里金和因子克里金	(49)
3.9	克里金的工作流程及其正确应用	(52)
4	使用辅助变量的克里金	(54)
4.1	具有外部漂移的克里金	(55)
4.2	交叉协方差	(58)
4.3	同位协同克里金	(59)
4.4	使用辅助变量的克里金的作用	(62)
5	随机实现	(63)
5.1	序贯高斯随机模拟	(63)
5.2	二维空间中的克里金、随机实现及内插质量的分析方法	(66)
5.3	三维空间中一个例子的原始数据及其确定性内插	(68)
5.4	三维空间中的克里金与随机实现	(70)
5.5	序贯指示随机模拟	(74)
5.6	应用分类的方法进行参数实现的计算	(76)
5.7	应用正态得分变换进行参数实现的计算	(80)
6	非传统地质统计学方法	(86)
6.1	基于目标的模拟	(86)
6.2	多点地质统计学	(87)
6.3	模糊地质模型	(90)
7	随机地震反演	(100)
8	随机实现的应用	(103)
8.1	随机实现在井轨迹设计中的应用	(103)
8.2	随机实现在地质模型历史拟合中的应用	(103)
	后记	(111)
	参考文献	(113)

# 1 绪 论

相对于整本书来说,读绪论部分的人常常更多,因此在这一章中我们将尽量讲清楚什么是“地质模型”,什么又是“地质统计学”。本章首先描述了地质模型的分级,然后讲了地质建模在不同阶段的主要研究内容,以及在模型建立过程中该怎样把常规方法和非常规方法结合起来,最后以讲述地质模型的主要陷阱来结束本书的绪论部分。简单地说,地质模型可以解释为地质介质的属性,不能用一般的方式内插得到,即在已知属性值点的几何中心点,其属性值不等于对原已知属性值的简单平均。

再来看一下本章关于地质统计学的内容。我们首先解释了为什么会产生地质统计学建模,它有哪些新特点,又有哪些重要的特点,以及为什么传统的确定性建模突然就不能满足我们的要求了。随后将对地质统计学方法作简单介绍,并对它的历史背景进行分析。这样做是由于这些方法并不是一下子就出现的,而是随着时间发展逐渐产生的。了解这一点很重要,在后面谈到地质统计学的基本思想时,我们将不再按其历史沿革顺序来阐述。

## 1.1 地质模型的概念及其分级

什么是地质模型?它是指在足以解决所给地质问题的抽象层面上,对实际地质介质的数字化表示。那这些地质问题又都是些什么样的问题呢?在油气田的勘探及开发过程中通常要解决的不是某一个具体问题,而是某一系列的问题,要解决这些问题我们就得使用一系列不同级别的模型。这一系列不同级别的模型可以比喻为一套放大镜——每下一级别模型对应放大倍数更大的放大镜。因此,所描述对象的细节在逐渐增加,而研究对象的尺度在逐层缩小。正因为如此,这里要讲一下地质模型的分级,以及每一个分级中又包含了哪些模型。

这些分级的最上面一个层次是区域模型。它是延伸距离达上千公里的区块模型,在这个层次上要解决的地质问题是该区块内是否存在工业油气藏(如果存在,那么分布在哪些地方、哪些层位)。众所周知,常规油藏的形成条件是存在储层

(砂岩或石灰岩)和上覆的不渗透盖层(泥岩),还有一个形成条件就是存在沟通油气运移通道的断层。区域模型建立的原始数据是基准井、参数井、区域地震剖面、构造图及许多其他数据,区域模型应使用真实地理坐标来建立,因为这些模型中的地表曲率往往非常明显。

模型分级的第二层次——预探模型。这一级模型模拟区域较小,一般是百公里级,因为此时涉及的不是整个区域了,而仅是最有前景的区块。这一级模型要解决的地质问题——在给定工区边界内追踪含油层系顶界面及相应的基本断裂体系,以查明构造和非构造圈闭。这种模型的主要原始数据是采集处理的地震剖面资料,本阶段模型主要应注意地震波的速度计算及叠加、偏移剖面的处理,因为这些过程决定了所获深度剖面的质量。

在预测的圈闭构造上钻探井,证实其中存在工业油气储量以后,就认为发现了油气田,之后进入详探阶段。此阶段会钻探一组详探井,同时在经济指标允许的条件下将部署三维地震勘探工作。这一级模型的模拟区域将进一步缩小为几十公里级,其所研究的对象已经是具体的油田。我们把这一级模型归为模型中的第三层次,在这个层次上将解决天然油藏翔实的几何参数问题,确定油水界面及油气界面,并进行储层性质的精细预测和储量计算。然后转入开发过程,对每一口已钻开发井按一定顺序进行矿场地球物理测井,并对油藏精细地质模型进行必要的修正。

最后是模型分级的第四个层次即精细地质模型,我们将基于这一级模型进行油田开发。借助于上面较粗网格的模型,在地质精细建模的基础上建立精细地质模型,这种模型的主要特点在于它是动态的。也就是说,与前面的静态模型不同,动态模型还包括一些动态参数,如网格上的压力、目前的饱和度,井上油、气、水的产量和注水量等。模型中这些动态参数的计算要借助于专门的程序即油藏数值模拟器来完成。计算所得的井上动态参数值与实测值之间存在误差,这样需要对原始静态模型进行修正,使数值模型逐步接近实际油藏。精细地质模型用于整个油田生命周期中长期开发过程的预测和优化。

本书中我们将主要讨论第三层次的模型,即天然油藏的详探模型,区域模型则根本不会涉及,预探模型和动态模型(即精细地质模型)仅在个别章节进行简单讨论。

## 1.2 地质建模的阶段

建立天然油藏的详探模型分为两个阶段:第一阶段是建立几何模型格架,划分地层,确定它们的顶、底构造界面;之后是第二阶段,在确定好的地层范围中预测地质介质的属性。

详探地质模型几何格架基于两种数据来建立。第一种数据是二维、三维地震解释得到的构造层面,这里面最常见的构造层面是位于油藏顶面附近的标准反射层,同时可能还有一些近于垂直的断裂面;建立模型几何格架的第二种数据是根据测井资料所做的小层对比成果,根据井上分层对比得出的海拔数据内插出地层层面,在这个内插过程中尽可能同时考虑标准反射层的形态和解释的断裂系统。建立的地层层面和断面一起组成了所需要的地层格架,或者换句话说,组成了我们所需要的几何模型,其主要目的是基于它计算出地层网格。这样就完成了第一阶段的建模。

在详探地质模型建立的第二阶段,将对井上的油藏属性数据作井间内插,它是在地层网格坐标中进行的。为什么呢?因为在地层沉积时地层面是水平的,沿地层层面地质介质的变化最小,因此在地层网格中进行内插最为可靠。同时,在进行属性内插过程中,除了使用井点数据之外,我们还可以应用地震属性值。

以上描述了常规建模的过程,它并不是很复杂,其基本内容其实就是内插过程,先是对地层层面内插,然后是进行空间属性的内插。但建模过程还有第二种,即非常规建模,本质上它常常使建模过程更加复杂化。建模过程中还必须注意,模型应该不仅要与具体的地震数据和井点数据相符,同时还要符合我们对地质对象形成过程的认识。

所以在熟悉资料的最早期阶段,或对研究工区还仅仅处于总体认识阶段时,常常会提出对相应地质对象成因的假说。然后,随着模型的建立,在其中加入越来越新的资料。这样,它将会更深化、更准确。为什么需要这种假说呢?这是因为对于地质介质成因所作的假说,是对数量庞杂、性质各异的实际数据进行综合和验证的唯一客观依据。比方说,地震剖面和岩心显微薄片有什么共同之处呢?它们的共同之处在于,这些不同类型资料中的每一种都以不同方式反映着地质对象同样的成因——这样或那样的古沉积环境、构造条件、沉积后作用等。如果我们成功地提

出了一个假说,它能证实(及得到证实)所有类型的数据,就可以把它加到模型中,甚至是加到资料不足的地方;反之,还没有提出对地质对象的合理假说时,我们就没有模型,也就不能信赖计算所得到的属性体。

通过哪些方式可以把对地质对象成因的认识加入到模型中去呢?最常见的方式有两种:

第一种是通过测井资料进行井上的小层对比,井上分层的海拔数据很大程度上确定了(在已钻探区域,实际上是完全确定了)地层模型的格架,所以应该对古沉积环境的类型及其空间建造做一些合理假设,然后结合这些假设来进行井的小层对比。地质统计学建模需要进行精细小层对比,就这一点来说其要求丝毫不亚于传统的确定性建模。因此我们经常作最精细的井上小层对比,以此为出发点开展工作,这里不再占用篇幅来讨论小层对比了。

把对地质现象成因的认识加入到模型中的第二种方式是进行井间属性内插。这种内插得到的空间参数分布应与地质学家对地质对象成因形成的已有认识相符,这是因为进行数据内插可以有很多方法,要得到所需的结果也就可以通过多种方式来实现,本书中将会对数据内插进行详细讨论。

### 1.3 地质建模的主要陷阱

在地质模型的建立过程中可以对哪些类型的井点数据进行内插呢?通常我们进行内插的属性参数类型包括岩性、孔隙度、渗透率和饱和度。

这里需要申明,在绝大部分的井上并没有岩性、孔隙度、渗透率和饱和度的直接数据,而仅有这些井上的测井资料,即各种地球物理测井曲线。也就是说,只有先对井点上的测井资料进行解释得到这些参数的属性值,然后才能对其进行内插。

继续往下讨论。我们提出如下问题:为什么要进行岩性预测?进行储量计算及流体渗流计算时必须知道孔隙度、渗透率和饱和度参数吗?预测岩性的原因在于不能直接内插出井间的孔隙度和其他参数,为什么?为回答这些问题我们来分析一下下面这个例子。例子中包含了根据某区块的井点值计算的 $\alpha_{SP}$ 参数( $SP$ 参数的标准化值)直方图,以及整个地质介质范围内对井点值进行内插之后该参数的直方图,如图 1.1 所示。

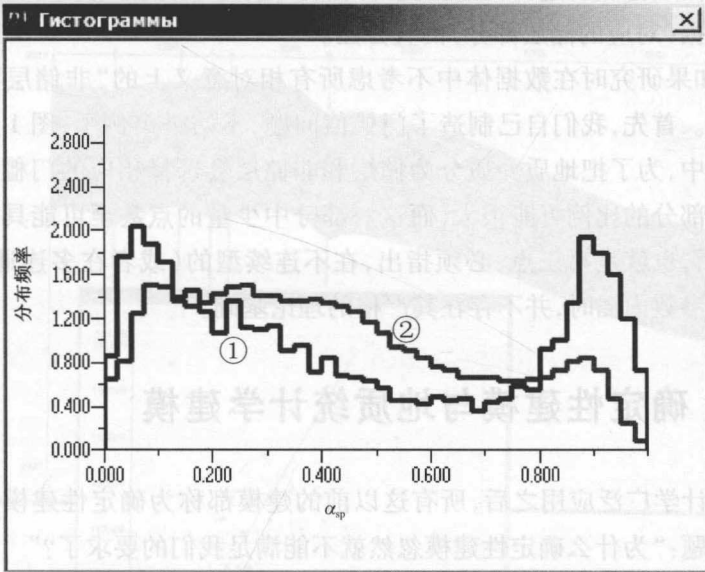


图 1.1  $\alpha_{sp}$  分布直方图

曲线①—原始井资料计算结果;曲线②—整体内插之后的结果

注意:根据井资料计算所得该参数最初的直方图呈“双峰”形式(曲线①),这种“双峰”的曲线形态表明,该地质介质由两类岩石组成,即高  $\alpha_{sp}$  值的储层和低  $\alpha_{sp}$  值的非储层,中间  $\alpha_{sp}$  数值的岩石并不多,我们把这种介质称为多类型介质,在某些情况下地质介质的岩石类型数可能会多于两类。

如果直接对井间参数值进行内插,那么整个数据体内孔隙度值的直方图将会呈现图 1.1 中曲线②的形态。位于研究区内的井是均匀分布的(后面详细研究这个例子的时候将会看到),因此我们有理由期待得到的这两个直方图是相似的。然而事实上两者之间没有任何相似性,内插之后几乎消除了原始数据中明显呈现出的最大值,而那些无意义的  $\alpha_{sp}$  (数值上的) 中间值却开始占优势了。显然这种内插是错误的,也就是说,我们看到了,在多类型介质中无法直接进行井点数据的内插,或者说,根本就不能进行内插。这种情形我们称为地质建模的主要陷阱。

为了避免所出现的错误(尚不知道有多大可能性能避免),在对这个参数或者任何其他参数作内插之前应先对地质介质进行分类,即分岩石类型进行内插,这种内插最常见的是把岩石仅分为两类——储层和非储层。完成岩石分类之后,我

们通常只在储层范围内进行孔隙度值的内插。这种方法往往能更好地在数据体内再现井点数据(对应的储层部分)的直方图。

然而,如果研究时在数据体中不考虑所有相对意义上的“非储层”,这样做是有害无益的。首先,我们自己制造了门槛值问题,不妨举个例子,图 1.1 中井点数据的直方图中,为了把地质介质分为储层和非储层会选择相应的门槛值;第二,消除的非储层部分的比例可能很大,而这一部分中少量的点甚至可能具有较大的孔隙度值;最后,也就是第三点,必须指出,在不连续型的(或者在多连通型的)储层范围内进行参数内插时,并不存在其严格的理论基础。

## 1.4 确定性建模与地质统计学建模

地质统计学广泛应用之后,所有这以前的建模都称为确定性建模。这里提出一个简单问题:“为什么确定性建模忽然就不能满足我们的要求了?”

现在来研究一条岩性体的剖面,此岩性体的计算将会用于我们现在讨论的一种确定性建模中,如图 1.2 所示。该数据体与已知井点数据完全相符,但糟糕的是在已钻井区(剖面左半区域)和未钻井区(剖面右半区域)岩性体的水平变化特征截然不同。很明显,这种情况在实际介质中不可能出现。

由图 1.2 可以得出两个结论。第一个结论是很明显的,即在剖面右侧,也就是那些资料不足的地方,介质的确定性内插是一种不真实的表示;第二个结论则不那么明显,即在还没有确定介质变化特征的真实程度之前,左半部分的结果我们也不能相信。

这样一来,确定性建模已经不能满足要求。也就是从此时开始,正如我们所理解的,依赖确定性模型,我们无法在模型中确定并再现介质的真实空间变化特征。

确定性建模会导致哪些负面结果呢?导致了预测的准确性低?还不仅仅如此。当这类剖面图根本就不正确时,对于图 1.2 的右侧部分无从谈起其任何预测的准确性。模型中包含了这么多的明显缺陷,我们还天真地期望能够正确地计算出储量,或者甚至是进行开发数据的历史拟合。

如果不用确定性建模而用地质统计学建模,情况又是怎样的呢?利用地质统计学也无法得到具有处处真实变化特征(即便是在图 1.2 左侧部分)的唯一确定的岩性体,因为在未钻井区域自始至终是没有井存在的。但地质统计学建模可以获

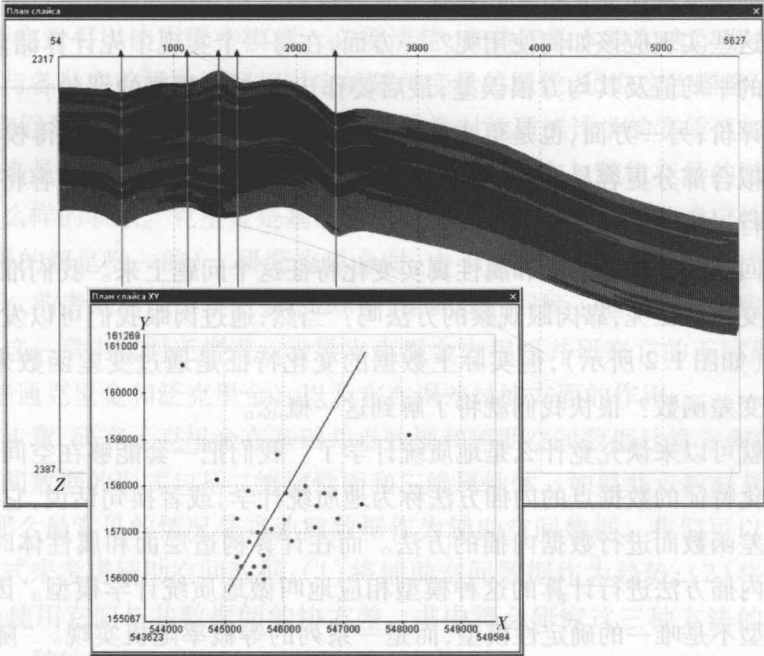


图 1.2 确定性模型的岩性剖面

深色部分为储层,浅色部分为非储层,图的下方是井位图和剖面线位置

得很多岩性体(称为“实现”),一方面其中的每一个实现都与已有的井点数据相符,另一方面,它同时还准确地再现了地质介质的变化特征。这些实现之间的区别(在图 1.2 剖面的右侧部分区别会很大)反映的是这种预测方法的不确定性。

但是这还不是所有的不确定性。我们谈到岩性体的实现时,忽略了它的边界即油藏的顶底界面。图 1.2 中,对于确定性内插得到的顶底界面,其缺点也很明显,这就是在井附近与距离井点较远处,顶底界面起伏的变化特征并不一致。井上分层数据的地质统计学内插给出了具有真实变化特征的地层层面,但这种方法会出现求解的非唯一性。我们得到的不是一个确定性的地层层面,而是这个地层层面的一系列实现。所以计算岩性体下一个实现时,我们应该使用新的几何边界实现,即用新的地层格架实现来进行。同样的道理,再进行下一步——针对岩性体的每一个实现,计算一个孔隙度实现;然后,在计算完最后一个孔隙度实现之后,开始计算渗透率实现和饱和度实现。最后,我们得到的不是一个确定性模型,而是会有足够多组的实现(最好是几十个),它们中的每一个实现都忠实于井点数据,并且



具有真实的构造层面变化特征和属性变化特征。

对于这些实现应该如何使用呢？一方面，在每一个实现中先计算储量，然后再计算储量的平均值及其均方根误差，最后要作出一个很重要的评价——储量计算的准确性评价；另一方面，也是更主要的，即这一系列的实现明显使得模型的开发数据历史拟合部分更容易完成。关于开发数据历史拟合这一部分内容将在本书最后一章进行讨论。

下面回到关于构造层面和属性真实变化特征这个问题上来。我们准备如何来确定这种变化特征呢，靠肉眼观察的方法吗？当然，通过肉眼我们可以发现一些变化的特征（如图 1.2 所示），但实际上数据的变化特征是通过变差函数来描述的。什么又是变差函数？很快我们就将了解到这一概念。

现在就可以来谈究竟什么是地质统计学了。我们把一套能够在空间中再现数据真实变化特征的数据点的内插方法称为地质统计学，或者换句话说，它是一套基于使用变差函数而进行数据内插的方法。而在计算构造层面和属性体时，使用地质统计学内插方法进行计算的这种模型相应地叫做地质统计学模型。因此，地质统计学模型不是唯一的确定性模型，而是一系列的等概率随机实现。“随机”的定义表明，在一个确定时刻进行实现的计算时我们会用到随机函数发生器。

当然，实际的天然油藏是唯一确定的，但是它究竟是什么样子呢，我们不得而知。而地质统计学要告诉我们的是，它可能是什么样，又不可能是什么样的。实际天然油藏可能只是计算得到的随机实现中的一个，而不会出现随机实现计算结果中所没有包含的形式，特别地，它不可能是确定性模型计算的结果。

## 1.5 教程内容概述

前面讲到，地质统计学是一套建立在变差函数基础之上的数据点内插方法。实际上今天的地质统计学并不完全是这样，它还包括一些其他的新方法，而这些方法并不是用变差函数来体现随机实现计算思想的。在本书的论述过程中，我们还是先讲述经典的建立在变差函数基础上的两点地质统计学。

绪论部分之后是本书的第 2 章——协方差和变差函数。协方差是地质统计学中的基本概念，要理解清楚究竟什么是协方差，它又是如何用于预测随机变量的特性的——做到这一点就可以认为自己也是地质统计学家了。平稳条件下，协方差