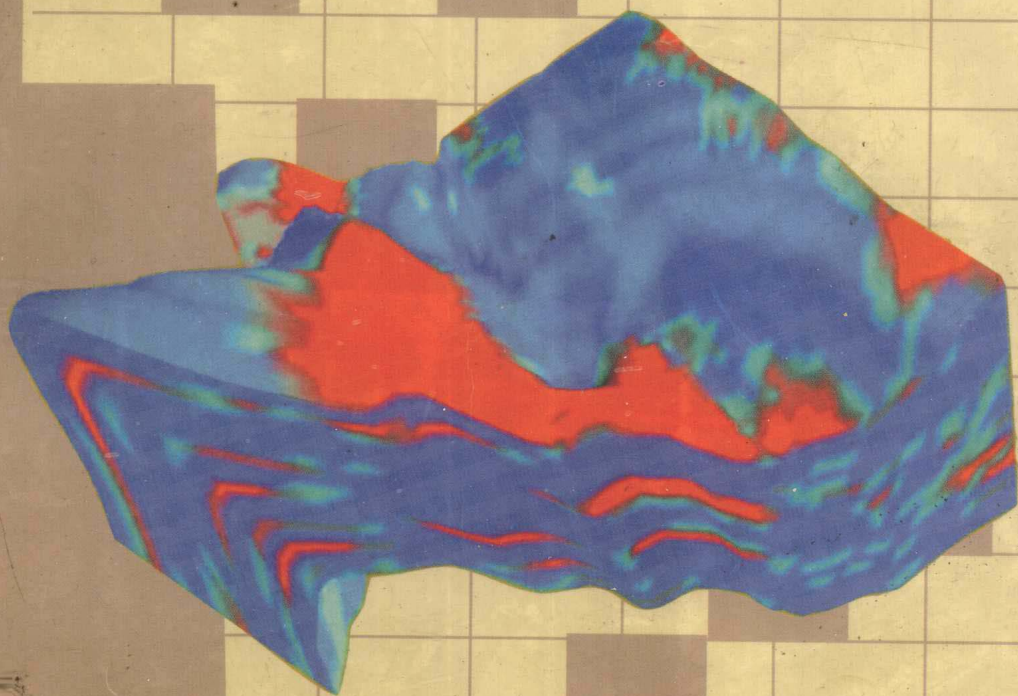


储层建模

吴胜和 金振奎 黄沧钿 陈崇河 编著



石油工业出版社

储层建模

吴胜和 金振奎 编著
黄沧钿 陈崇河

石油工业出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了储层建模的基本理论、方法和技术。从提高建模精度的角度出发,强调应用高分辨率层序地层学及地质概念模式约束建模过程,倡导等时建模、成因控制相建模以及相控建模的基本原则,系统地介绍了确定性建模与随机建模的基本原理、各种方法和技术及其地质适用性,并从实用性出发系统介绍了目前国际上储层建模的主要软件。

本书可供从事石油地质、开发地质及油藏工程等工作的科研人员参考,也可作为油气地质专业研究生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

储层建模/吴胜和等编著.

北京:石油工业出版社,1999.9

ISBN 7-5021-2815-8

I. 储…

II. 吴…

III. 建立模型-应用-储集层-分析

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 62342 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京林地贸易公司排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 8.25 印张 212 千字 印 1—1000

1999 年 9 月北京第 1 版 1999 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-2815-8/TE·2203

定价: 16.00 元(平装)

25.00 元(精装)

前 言

随着油气田勘探开发的不断深入,储层研究以建立定量的三维储层地质模型为目标,这是储层研究向更高阶段发展的体现。科学的油藏评价、油藏工程管理以及三维油藏模拟均需要建立三维储层地质模型,即储层属性的三维定量分布模型。

储层三维建模是国外 80 年代中后期开始发展起来的储层表征新领域,其核心是对井间储层进行多学科综合一体化、三维量化及可视化的预测。十多年来,这一学科领域的发展十分迅速,数学地质及计算机工作者致力于发展各种建模方法,特别是各种随机模拟方法,而储层地质工作者则研究各种建模方法的地质适用性,并力求改进方法以建立符合地质实际的三维储层地质模型。

本书作者近年来一直致力于储层建模的教学和科研工作,曾对多种油气储层类型,包括冲积扇、河流、扇三角洲、辫状河三角洲、正常三角洲、滨岸相、潮坪相等储层进行过三维建模研究,并与美国、挪威、法国、英国、澳大利亚等国的相关专家进行广泛的交流。为了使更多的油气地质工作者了解并掌握储层建模方法,并切实应用于油气田勘探开发实际,有必要系统介绍储层建模的基本理论、方法和技术。

全书共分五章,第一章储层建模概论,介绍储层建模的目的意义、储层模型类型、储层建模流程及建模策略,论述了确定性建模与随机建模、等时建模、成因控制相建模以及相控建模的基本原则;第二章储层地质模式,介绍三维储层建模所必须了解的各种沉积环境的储层结构模式;第三章确定性建模,介绍三种主要的确定性建模方法,即储层地震学方法、储层沉积学方法及地质统计学克里金方法;第四章随机建模,介绍了随机模拟的基本原理、算法和随机模型,以及主要的随机模拟方法及其地质适用性,包括标点过程、序贯高斯模拟、截断高斯模拟、序贯指示模拟、分形模拟等;第五章储层建模软件,介绍目前国际上主要的储层建模软件。其中,第一章由吴胜和副教授编写,第二章由金振奎副教授编写,第三章由吴胜和副教授、陈崇河讲师和黄沧铍讲师编写,第四章由吴胜和副教授和黄沧铍讲师编写,第五章由黄沧铍讲师编写。另外,周丽清副教授、纪发华博士、陈亮博士、张春雷博士、胡向阳博士参加了部分编写工作。

在本书编著过程中,自始至终得到了著名油藏描述专家熊琦华教授的鼓励、支持和大力帮助。作为我国油藏描述研究的先驱,她一直倡导和支持储层建模研究。本书即是在她的大力支持下编撰而成的。著名的地质统计学专家王仁铎教授审阅了全书并提出了许多宝贵意见。值本书即将出版之际,谨向两位前辈致以衷心的感谢。另外,石油大学(北京)地球科学系油藏描述与预测研究所的教师和研究生们对本书的编写给予了大力帮助,在此一并致谢。

由于编者水平有限,书中错误及不足之处,敬请批评指正。

吴胜和

1999年6月于北京

目 录

第一章 储层建模概论	(1)
第一节 储层建模的目的和意义.....	(1)
第二节 储层模型的类型.....	(2)
一、储层离散属性模型.....	(2)
二、储层参数模型.....	(4)
第三节 储层建模基本步骤.....	(5)
一、数据准备.....	(5)
二、构造建模.....	(6)
三、储层属性建模.....	(7)
四、图形显示.....	(8)
五、体积计算.....	(8)
六、模型粗化.....	(8)
第四节 储层建模的策略.....	(9)
一、确定性建模与随机建模.....	(9)
二、等时储层建模.....	(10)
三、成因控制储层相建模.....	(10)
四、相控储层建模.....	(11)
第二章 储层地质概念模式	(12)
第一节 陆相碎屑岩砂体.....	(12)
一、冲积扇砂体.....	(12)
二、河流砂体.....	(14)
三、湖泊砂体.....	(20)
四、深水重力流砂体.....	(24)
第二节 海相碎屑岩砂体.....	(25)
一、滨岸相砂体.....	(25)
二、浅海风暴流砂体和半深海等深流砂体.....	(29)
三、深海重力流砂体.....	(30)
第三节 海洋三角洲砂体.....	(33)
一、河控三角洲砂体.....	(34)
二、浪控三角洲砂体.....	(36)
三、潮控三角洲砂体.....	(36)
第四节 碳酸盐岩储集体.....	(36)
一、相控碳酸盐岩储集体.....	(36)
二、古岩溶储集体.....	(39)
三、裂缝碳酸盐岩储集体.....	(42)

第三章 确定性建模	(45)
第一节 储层地震学方法	(45)
一、概述.....	(45)
二、储层厚度预测.....	(46)
三、储层岩性及物性预测.....	(47)
四、地震资料的多解性及相控储层预测.....	(49)
五、井间地震.....	(50)
第二节 储层沉积学方法	(51)
一、高分辨率等时地层对比.....	(51)
二、井间砂体对比及建模.....	(57)
第三节 地质统计学克里金方法	(61)
一、方法概述.....	(61)
二、基本原理.....	(62)
三、克里金基本方法介绍.....	(71)
四、克里金方法的应用特点.....	(80)
第四章 随机建模	(83)
第一节 随机建模概论	(83)
一、概念及目的和意义.....	(83)
二、随机模拟原理.....	(85)
三、随机模型.....	(92)
第二节 基于目标的随机模拟方法	(94)
一、基本原理.....	(94)
二、方法应用.....	(96)
第三节 基于象元的随机模拟方法	(96)
一、序贯高斯模拟.....	(96)
二、截断高斯模拟.....	(98)
三、序贯指示模拟.....	(99)
四、分形模拟.....	(104)
五、其它随机模拟方法.....	(107)
第四节 随机建模步骤	(108)
一、主要特点.....	(108)
二、关键环节.....	(109)
第五章 储层建模软件	(112)
第一节 确定性建模软件	(112)
第二节 随机建模软件	(113)
一、RMS/STORM	(114)
二、GSLIB	(115)
三、HERISIM	(117)
四、RC ²	(118)
五、GOCAD	(119)

第三节 其它相关软件.....	(120)
一、STATPAC	(120)
二、Geo-EAS	(120)
三、Geostatistical Toolbox	(120)
四、GEOPACK	(121)
参考文献.....	(122)

第一章 储层建模概论

第一节 储层建模的目的和意义

在油气田的勘探评价和开发阶段，储层研究以建立定量的三维储层地质模型为目标，这是油气勘探开发深入发展的要求，也是储层研究向更高阶段发展的体现。现代油藏管理的两大支柱是油藏描述和油藏模拟。油藏描述的最终结果是油藏地质模型，而油藏地质模型的核心是储层地质模型，即储层属性的三维分布模型。广义的储层模型（reservoir model）实际上为油藏模型。在国外文献中，reservoir一词往往指含有油气的储集体，因此，广义的储层模型包括构造模型、储层属性分布模型及流体分布模型。从这个意义上讲，应用各种资料（地质、地震、测井、试井等资料）建立广义储层模型的过程实际上就是油藏描述。

地下储层是在三维空间分布的。长期以来，人们习惯于用二维图形（各种小层平面图、油层剖面图）及准三维图件（栅状图）来描述三维储层，如用平面渗透率等值线图来描述一套（或一层）储层的渗透率分布，显然，这种描述存在一定的局限性，关键是掩盖了储层的层内非均质性乃至平面非均质性。

80年代以后，国外利用计算机技术，逐步发展出一套利用计算机存储和显示的三维储层建模方法，即把储层三维网格化（3D gridding）后，对各个网块（grid）赋以各自的参数值，按三维空间分布位置存入计算机内，形成三维数据体即三维储层数值模型，这样就可以进行储层的三维显示，可以任意切片和剖面（不同层位、不同方向剖面），并可进行各种运算和分析。

值得注意的是，三维储层建模不等同于储层的三维图形显示。从本质上讲，三维储层建模是从三维的角度对储层进行定量的研究并建立其三维模型，其核心是对井间储层进行多学科综合一体化、三维量化及可视化的预测。与传统的二维储层研究相比，三维储层建模具有以下明显的优势：

（1）能更客观地描述储层，克服了用二维图件描述三维储层的局限性。三维储层建模可以从三维空间上定量地表征储层的非均质性，从而有利于油田勘探开发工作者进行合理的油藏评价及开发管理。

（2）可更精确地计算油气储量。在常规的储量计算时，储量参数（含油面积、油层厚度、孔隙度、含油饱和度等）均用平均值来表示。显然，应用平均值计算储量忽视了储层非均质性的因素，例如，油层厚度在平面上并非等厚，孔隙度和含油饱和度在空间上也是变化的。应用三维储层模型计算储量时，储量的基本计算单元是三维空间上的网格（其分辨率比二维储量计算时的高得多）。因为每一个网格均赋有相类型、孔隙度值、含油饱和度值等参数，因此，通过三维空间运算，可计算出实际的油砂体体积、孔隙体积和油气体积，其计算精度比二维储量计算的高得多。

（3）有利于三维油藏数值模拟。三维油藏数值模拟需要一个把油藏各项特征参数在三维空间上的分布定量表征出来的地质模型。粗化的三维储层地质模型可直接作为油藏数值模拟

的输入，而油藏数值模拟成败的关键在很大程度上取决于三维储层地质模型的准确性。

在油藏评价乃至油田开发的不同阶段，均可建立三维储层地质模型，以服务于不同的勘探开发目的。随着油藏勘探开发程度的不断深入，基础资料也在不断丰富，所建模型的精度也越来越高。当然，与此同时，油田开发管理对储层模型精度的要求也越来越高。

在油藏评价阶段及开发设计阶段，基础资料主要为大井距的探井和评价井资料（岩心、测井、测试资料）及地震资料。在这一阶段，所建模型的分辨率相对较低（主要是垂向分辨率相对较低），但可满足勘探阶段油藏评价和开发设计的要求，对评价井设计、储量计算、开发可行性评价以及优化油田开发方案具有十分重要的意义。

在开发方案实施及油藏管理阶段，由于开发井网的完成，基础资料大为丰富，因而可建立精度相对较高的储层模型。这类储层模型主要为优化开发实施方案及调整方案服务，如确定注采井别、射孔方案、作业施工、配产配注以及进行油田开发动态分析等，以提高油田开发效益及油田采收率。

在注水开发中后期和三次采油阶段，可获得的基础资料非常丰富，井资料更多（井距更小，在开发井网基础上，又有加密井、检查井等），特别要指出的是，在该阶段可获取大量的动态资料，如多井试井、示踪剂地层测试及生产动态资料等，因而，可建立精度很高的储层模型。然而，由于储层参数的空间分布对剩余油分布的敏感性极强，同时储层特征及其细微变化对三次采油注入剂及驱油效率的敏感性远大于对注水效率的敏感性，因此，为了适应注水开发中后期和三次采油对剩余油开采的需求，对储层模型的精度要求更高，要求在开发井网（一般百米级或数百米级）条件下将井间数十米甚至数米级规模的储层参数的变化及其绝对值预测出来，即建立高精度的储层预测模型。这类模型的建立正是储层建模工作者目前乃至下一世纪攻关研究的重要目标。

第二节 储层模型的类型

按照储层属性和模型所表述的内容，可将储层地质模型分为两大类，即储层离散属性模型和储层参数模型，其中前者包括储层相模型、储层结构模型、流动单元模型、裂缝分布模型等，后者主要包括储层孔隙度、渗透率及含油饱和度分布模型等。

一、储层离散属性模型

这类模型主要表述储层离散变量的三维空间分布，属于离散模型（discreet model）的范畴。储层沉积相、储层结构、储层流动单元、储层裂缝、断层等均属于离散变量。

1. 储层相模型（储层结构模型）

储层相模型为储层内部不同相类型的三维空间分布。该模型能定量表述储集砂体的大小、几何形态及其三维空间的分布，实际上为储层结构模型。油田开发生产实践表明，相带分布强烈地影响地下流体的流动。同时，岩石物性的变化与相类型极为相关。对于多相分布的储层来说，合理的相模型是精确建立岩石物性模型的必要前提。建立三维相模型的主要优点有：

（1）能为岩石物性建模和油藏数值模拟提供详细的相带结构模型。相模型是岩石物性建模的基础，也是决定油藏数值模拟中模拟网块大小和数量的重要依据。

（2）能从三维空间上分析储层连通情况。

（3）当应用随机模拟方法建立相模型时，能研究储层结构的不确定性。

(4) 能进行详细的体积计算（每个相带的总体积等）。

(5) 相模型以数值形式存于计算机中，能达到资源共享，并能在收集更多资料时迅速方便地编辑、修改和更新模型。

图 1—1 为江苏油田某区的三维相模型的一个平面切片，表示辫状河三角洲分流河道及河道间的空间分布。

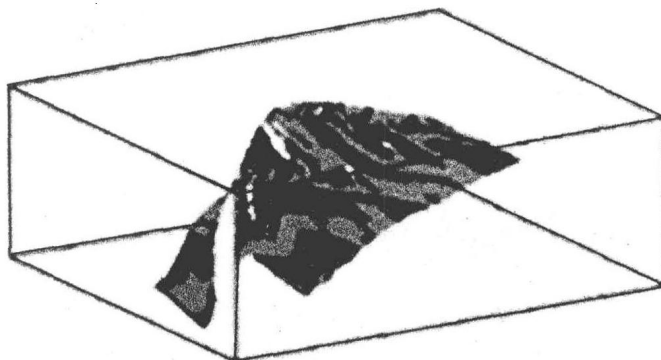


图 1—1 江苏油田某区三维储层相模型的一个平面切片

2. 流动单元模型

所谓流动单元是指根据影响流体流动的地质参数（如渗透率、孔隙度、 K_v/K_h 比、非均质系数、毛细管压力等）在油藏储层中进一步划分的纵横向连续的储集带；在该带中，影响流体流动的地质参数在各处都相似，并且岩层特点在各处也相似（C. L. Hearnetal, 1984；W. J. Ebanks, 1987）。不同的流动单元具有不同的流体流动特征及生产性能。

流动单元模型是由许多流动单元块体镶嵌组合而成的模型，属于离散模型的范畴。该模型既反映了单元间岩石物性的差异和单元间边界，又突出地表现了同一流动单元内影响流体流动的物性参数的相似性，这对油藏模拟及动态分析有很大的意义，对预测二次采油和三次采油的生产性能十分有用。

图 1—2 为长庆安塞油田某区的三维流动单元模型，其中，灰白色为 I 类流动单元，灰色为 II 类流动单元，深色为渗流屏障。

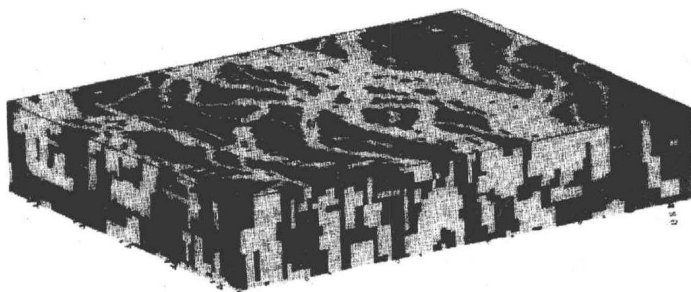


图 1—2 长庆安塞油田某区三维流动单元模型

3. 裂缝分布模型

裂缝对油田开发具有很大的影响。在双重孔隙介质中，裂缝的渗透率比孔隙大得多，因此裂缝和孔隙的渗透率差异很大。在注水开发过程中，当裂缝从注水井延伸到采油井时，注

入水很易沿裂缝窜入油井，造成油井暴性水淹，从而造成油田含水率上升很快而采出程度很低。不同类型的裂缝、不同的裂缝网络以及不同的裂缝发育程度对油田开发有不同的影响。因此，对于裂缝性储层，为了优化油田开发设计及提高油田采收率，必须建立裂缝分布模型。

裂缝分布模型可分为二类，其一为三维裂缝网络模型（如图 1—3），表征裂缝类型、大小、形状、产状、切割关系及基质岩块特征等，其二为二维裂缝密度模型，表征裂缝的发育程度。裂缝分布模型的建立具有一定的难度，特别是地下油藏的裂缝网络模型，因此，需应用多学科方法、技术，如岩心分析、测井解释、试井分析、地震多波多分量研究及地质统计学随机模拟技术等进行综合研究和建模。

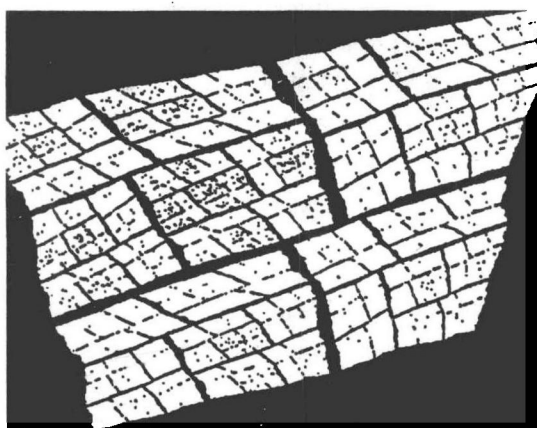


图 1—3 裂缝网络模型（平面切片）

二、储层参数模型

储层参数在三维空间上的变化和分布即为储层参数模型，属于连续性模型（continuous model）的范畴。储层参数如孔隙度、渗透率、含油饱和度等属于连续性变量。

在储层参数建模中，一般要建立三种参数的分布模型，即孔隙度模型（如图 1—4）、渗

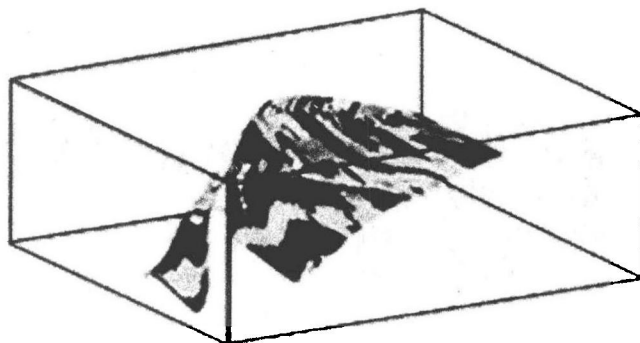


图 1—4 江苏油田某区三维储层孔隙度模型的一个平面切片

透率模型和含油（或含水）饱和度模型。孔隙度模型反映储存流体的孔隙体积分布，渗透率模型反映流体在三维空间的渗流性能，而含油饱和度模型则反映三维空间上油气的分布。这

三种模型对于油藏评价及油气田开发均有很重要的意义。如在油田开发阶段，为了研究水驱油效率、剩余油的分布以及确定三次采油方案，需要确切了解井间储层参数的分布，尤其是渗透率的分布（因渗透率是表征渗流过程的最重要参数）。图 1—4 为江苏油田某区三维储层孔隙度模型的一个平面切片。

第三节 储层建模基本步骤

三维建模一般遵循从点一面一体的步骤，即首先建立各井点的一维垂向模型，其次建立储层的框架（由一系列叠置的二维层面模型构成），然后在储层框架基础上，建立储层各种属性的三维分布模型。

一般地，广义的储层三维建模（即油藏三维建模）过程包括四个主要环节，即数据准备、构造建模、储层属性建模、图形显示。根据三维地质模型，可进行各种体积计算；如果要将其用于油藏数值模拟，应对其进行粗化（图 1—5）。

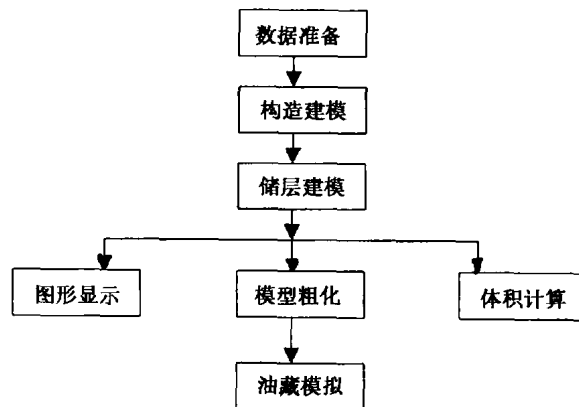


图 1—5 储层建模流程图

一、数据准备

储层建模是以数据库为基础的。数据的丰富程度及其准确性在很大程度上决定着所建模型的精度。

1. 数据类型

从数据来源来看，建模数据包括岩心、测井、地震、试井、开发动态等方面的数据。从建模内容来看，基本数据类型包括以下四类：

(1) 坐标数据：包括井位坐标、地震测网坐标等。

(2) 分层数据：各井的油组、砂组、小层、砂体的划分对比数据；地震资料解释的层面数据等。

(3) 断层数据：断层位置、断点、断距等。

(4) 储层数据：储层数据是储层建模中最重要的数据。包括井眼储层数据、地震储层数据和试井储层数据。

井眼储层数据为岩心和测井解释数据，包括井内相、砂体、隔夹层、孔隙度、渗透率、含油饱和度等数据（即井模型），这是储层建模的硬数据（hard data），即最可靠的数据；地

震储层数据主要为速度、波阻抗、频率等数据，为储层建模的软数据（soft data），即可靠程度相对较低的数据。试井（包括地层测试）储层数据包括两个方面，其一为储层连通性信息，可作为储层建模的硬数据，其二为储层参数数据，因其为井筒周围一定范围内的渗透率平均值，精度相对较低，一般作为储层建模的软数据。

2. 数据集成及质量检查

数据集成是多学科综合一体化储层表征和建模的重要前提。集成各种不同比例尺、不同来源的数据（井数据、地震数据、试井数据、二维图形数据等），形成统一的储层建模数据库，以便于综合利用各种资料对储层进行一体化分析和建模。

对不同来源的数据进行质量检查亦是储层建模的十分重要的环节。为了提高储层建模精度，必须尽量保证用于建模的原始数据特别是硬数据的准确性，而应用错误的原始数据进行建模不可能得到符合地质实际的储层模型。因此，必须对各类数据进行全面的质量检查，如检查岩心分析的孔渗参数的奇异值是否符合地质实际，测井解释的孔渗饱参数是否准确，岩心—测井—地震—试井解释结果是否吻合等。可以通过不同的统计分析，如直方图、散点图等方法对数据进行检查，还可以在三维视窗中直观地观察各种来源数据的匹配关系并对其进行质量检查和编辑。

二、构造建模

构造模型反映储层的空间格架。因此，在建立储层属性的空间分布之前，应进行构造建模。构造模型由断层模型和层面模型组成。

断层模型实际反映的是三维空间上的断层面（如图 1—6），主要根据地震解释和井资料校正的断层文件，建立断层在三维空间的分布。

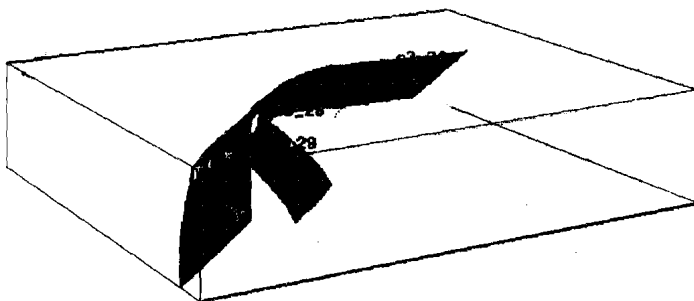


图 1—6 江苏油田某区三维断层模型

层面模型反映的是地层界面的三维分布（如图 1—7），叠合的层面模型即为地层格架模型。建模的基础资料主要为分层数据，即各井的层组划分对比数据及地震资料解释的层面数据等。一般是通过插值法（亦可应用随机模拟方法），应用分层数据，生成各个等时层的顶、底层面模型（即层面构造模型），然后将各个层面模型进行空间叠合，建立储层的空间格架。

建立层面模型的前提是确定不同的地层叠置型式。一般地，有如下几种型式：

- (1) 比例型：内部层面与顶、底面平行（图 1—8a）；
- (2) 退覆—剥蚀型：内部层面与底面平行，而与顶面呈锐角相交，可由退覆沉积作用形成，亦可由顶部剥蚀作用而形成（图 1—8b）；
- (3) 超覆型：内部层面与底面呈锐角相交，而与顶面平行，由超覆作用而形成（图 1—8c）。

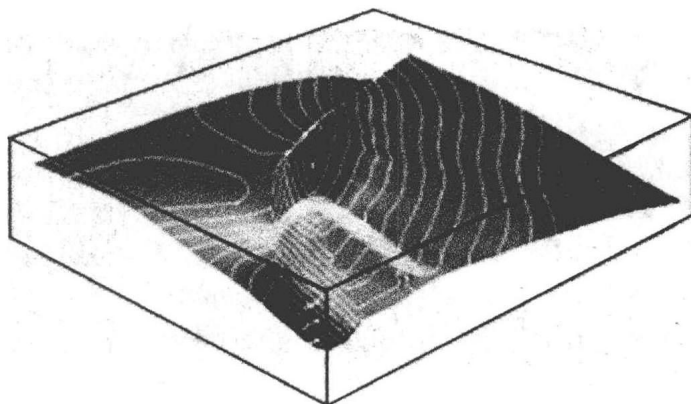


图 1—7 江苏油田某区三维层面模型

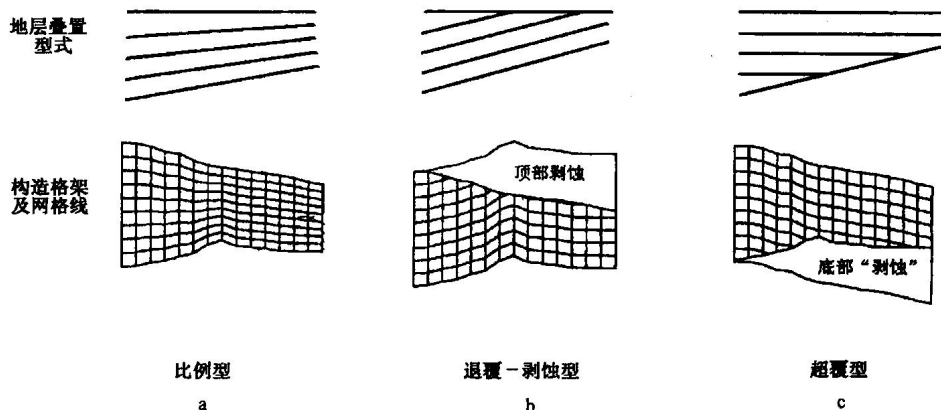


图 1—8 地层叠置型式

Hektoen 和 Holden (1995, 1996) 提出了一种根据层序地层学原理建立层序地层格架的建模方法。该方法可描述海平面上升或海进造成的洪泛面及由于海平面下降形成的由深切谷和谷间组成的层序边界(如图 1—9)。其中,应用高斯模拟方法生成洪泛面和层序界面,应用标点过程模拟深切峡谷的方向和形状。

三、储层属性建模

储层属性建模,即是在构造模型基础上,建立储层属性的三维分布。储层属性包括离散的储层性质,如沉积相、储层结构、流动单元、裂缝等,以及连续的储层参数,如储层孔隙度、渗透率及含油饱和度等。首先,对构造模型进行三维网格化,然后,利用井数据和/或地震数据,按照一定的插值(或模拟)方法对每个三维网格进行赋值,建立储层属性(离散和连续属性)的三维数据体,即储层数值模型。网块尺寸越小,标志着模型越细;每个网块上参数值与实际误差愈小,标志着模型的精度愈高。

这一环节是储层三维建模中最为重要也是最为关键的环节。关键在于赋值精度,这决定着模型的精度。影响模型精度的因素很多,但主要为以下三个方面:

(1) 资料丰富程度及解释精度:资料丰富程度不同,所建模型精度亦不同。对于给定的工区及给定的赋值方法,可用的资料越丰富,所建模型精度越高。另一方面,对于已有的原

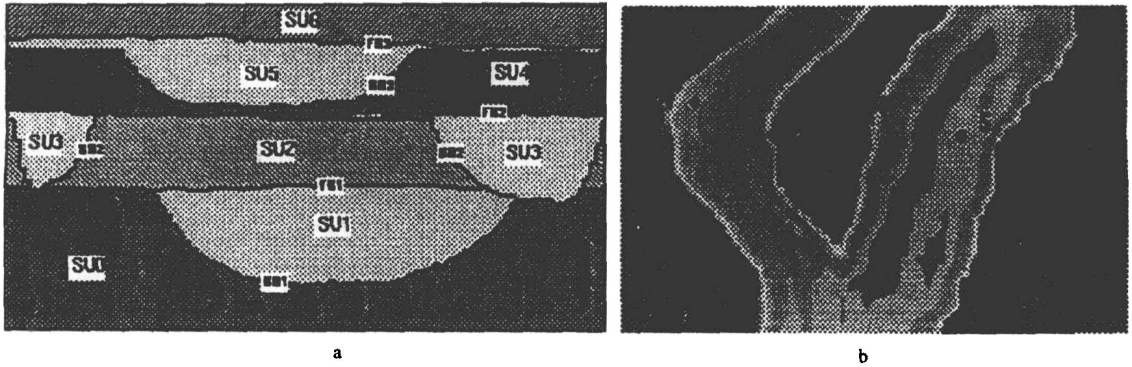


图 1—9 层序地层格架模型 (据 Hektoen 和 Holden, 1996)

a—层序格架横剖面, 包括三个洪泛面和三个层序边界; b—层序边界平面图, 具两个深切谷

始资料, 其解释的精度亦严重影响储层模型的精度。如沉积相类型的确定, 涉及到应用何种地质概念模式来建立储层三维相模型; 储层孔隙度、渗透率、含油饱和度的测井解释精度则决定了储层参数建模所依赖的硬数据的可靠性。

(2) 赋值方法: 赋值方法很多, 就井间插值 (或模拟) 而言, 有传统的插值方法 (如中值法、距离平方反比加权法等)、各种克里金方法、各种随机模拟方法等。不同的赋值方法将产生不同精度的储层模型。因而, 建模方法的选择是储层建模的关键。

(3) 建模人员的技术水平, 包括储层地质理论水平及对工区地质的掌握程度、计算机应用水平及对建模软件的掌握程度。

四、图形显示

三维空间赋值所建立的是数值模型, 即三维数据体。对此可进行图形变换, 以图形的形式显示出来。现代计算机技术可提供十分完美的三维图形显示功能, 通过任意旋转和不同方向切片以从不同角度显示储层的外部形态及其内部特点。地质人员和油藏管理人员可据此三维图件进行三维储层非均质分析和进行油藏开发管理。

五、体积计算

储层建模的重要目的之一是进行油气储量计算。根据三维储层模型, 可计算:

- (1) 地层总体积;
- (2) 储层总体积以及不同相 (或流动单元) 的体积;
- (3) 储层孔隙体积及含烃孔隙体积;
- (4) 油气体积及油气储量;
- (5) 连通体积 (连通的储层岩石体积、孔隙体积及油气储量);
- (6) 可采储量。

六、模型粗化

三维储层地质模型可输入至模拟器进行油藏数值模拟, 但一般要先对储层模型进行粗化。由于目前计算机内存和速度的限制, 动态的数值模拟不可能处理太多的节点, 常规的黑油模拟的模型网格节点数一般不超过 30 万个, 而精细地质模型的节点数可达到百万甚至千万个。因此, 需要对地质模型进行粗化。

模型粗化 (Upscaling), 亦称均质化 (Homogenisation), 是使细网格的精细地质模型

“转化”为粗网格模型的过程。在这一过程中，用一系列等效的粗网格去“替代”精细模型中的细网格，并使该等效粗网格模型能反映原模型的地质特征及流动响应。粗化模型的网格可以是均匀的，也可以是不均匀的。

粗化方法很多，有各种平均方法（算术平均法、调和平均法、几何平均法、指数平均法、调和—算术平均法、算术—调和平均法等）、归一化方法、流动模拟法（包括对角张量和完全张量方法）等。一般地，对于孔隙度和含油饱和度来讲，由于它们为标量，应用简单的算术平均法即可。而对于渗透率，则不能使用算术平均法，而应使用其它方法。一般地，可首先应用调和—算术平均法、算术—调和平均法分别进行渗透率粗化计算，如果两者很接近，则应用它们的几何平均值即可；如果两者有较大的差别，则可考虑用归一化方法或指数平均法，如果时间允许的话，最好应用对角张量或完全张量方法。

模型粗化后，即可直接进入模拟器进行油藏数值模拟。

第四节 储层建模的策略

目前，三维储层建模的技术问题（上述四个环节的功能）已基本解决。但对于储层属性三维空间赋值的精度，还有许多问题需要解决。三维空间赋值本质上是井间储层预测，其精度决定着所建模型的精度，因此，提高井间预测精度是储层建模的核心。

在储层建模研究中，数学及数学地质人员多侧重于建模算法研究，计算机技术人员则侧重于通过编程实现算法以及如何更生动、直观地实现储层三维显示。储层地质人员则将重点放在如何建立能更客观地反映地质实际的储层模型，为此充分研究地质概念模式及建模思路，研究不同建模方法的地质适用性并力求改进建模方法。

在实际的建模过程中，为了建立尽量符合地质实际的储层模型，应切实考虑以下建模途径或建模策略。

一、确定性建模与随机建模

储层建模有两种基本途径，即确定性建模（Deterministic modeling）和随机建模（Stochastic modeling）。

确定性建模是对井间未知区给出确定性的预测结果，即试图从具有确定性资料的控制点（如井点）出发，推测出点间（如井间）确定的、唯一的、真实的储层参数。确定性建模的方法主要有储层地震学方法、储层沉积学方法及地质统计学克里金方法。其中，储层地震学方法主要是应用地震资料，利用地震属性参数，如层速度、波阻抗、振幅等与储层岩性和孔隙度的相关性进行横向储层预测，继而建立储层岩性和物性的三维分布模型。储层沉积学方法主要是在高分辨率等时地层对比及沉积模式基础上，通过井间砂体对比建立储层结构模型。地质统计学克里金方法则以变差函数为工具进行井间插值而建立储层参数分布模型。三者可单独使用，亦可结合使用。本书第三章论述了上述确定性建模方法的原理及应用范畴。

然而，在资料不完善以及储层结构空间配置和储层参数空间变化比较复杂的情况下，人们难于掌握任一尺度下储层的确定的且真实的特征或性质，也就是说，在确定性模型中存在着不确定性。因此，人们广泛应用随机建模方法进行储层建模。所谓随机建模，是指以已知的信息为基础，以随机函数为理论，应用随机模拟方法，产生可选的、等概率的储层模型的方法，亦即对井间未知区应用随机模拟方法给出多种可能的预测结果。这种方法承认控制点以外的储层参数具有一定的不确定性，即具有一定的随机性。因此采用随机建模方法所建立

的储层模型不是一个，而是多个，即针对同一地区，应用同一资料、同一随机模拟方法可得到多个模拟实现（即所谓可选的储层模型）。通过各模型比较，可了解由于资料限制而导致的井间储层预测的不确定性，以满足油田开发决策在一定风险范围的正确性。若将这些实现用于三维储量计算，则可得出一个储量分布，而不是一个确定的储量值，因此可更客观地了解地下储量，从而为开发决策提供重要的参考依据。随机模拟方法很多，主要有标点过程、序贯高斯模拟、截断高斯模拟、序贯指示模拟、分形模拟等。本书第四章介绍了随机建模的基本原理以及不同建模方法的基本概率理论和地质适用性。

但值得注意的是，随机建模不是确定性建模的替代，其主旨是对非均质储层进行不确定性分析。在实际的建模过程中，为了尽量降低模型中的不确定性，应尽量应用确定性信息来限定随机建模过程，这就是随机建模与确定性建模相结合的建模思路。通过多学科资料，可以提取井间储层的一些确定性信息，如通过层序地层学研究确定层序格架、等时界面及洪（湖）泛泥岩的分布，应用生产动态资料确定井间砂体的连通性信息等。另外，为降低模型的不确定性，应尽量应用多种资料（地质、测井、地震、试井等）进行协同建模。

二、等时储层建模

沉积地质体是在不同的时间段形成的。一般地，各时间段的砂体沉积规律有所差别（由于物源供应及沉积作用的差别）。在建模过程中，若将不同时间段的沉积体作为一个层单元来模拟，则不能反映各层的实际地质规律，导致所建模型不能客观地反映地质实际。另外，储层建模过程中的三维网格化一般是在层内进行的，即在层内按等厚或等比例进行三维网格划分，显然，若将不同时间段的沉积体按等厚或等比例地进行网块划分在地质上是不甚合理的。

为了提高建模精度，在建模过程中应进行等时地质约束，即应用高分辨率层序地层学原理确定等时界面，并利用等时界面将沉积体划分为若干等时层。在建模时，按层（zone）建模，然后再将其组合为统一的三维沉积模型。这样，针对不同的等时层进行三维网格化，可减小等厚或等比例三维网格化对井间赋值带来的误差；同时，针对不同的等时层输入不同的反映各自地质特征的建模参数，可使所建模型能更客观地反映地质实际。这就是等时约束建模的主要目的。

三、成因控制储层相建模

沉积相的分布是有其内在规律的。相的空间分布与层序地层之间、相与相之间、相内部的沉积层之间均有一定的成因关系，因此，在相建模时，为了建立尽量符合地质实际的储层相模型，应充分利用这些成因关系，而不仅仅是井点数据的数学统计关系。

相的成因关系主要体现于层序地层学原理及沉积模式方面。近二十年来，地质学的飞速发展使人们充分认识到沉积与海平面、构造、气候的关系，并发展了层序地层学这一重要地质分支学科。它对控制沉积物的动态机制有了更好的理解。人们研究的重点已从纯粹的岩性对比转移到成因对比。可容空间和沉积物供给之间的关系控制了纵横向相序。相模式则体现了相带之间及相带内部的成因关系。各种相均有其基本相模式，而各亚相类型、微相空间分布关系和特征均有理论性的综合和描述。例如曲流河的二元结构、点沙坝的侧向加积、垂向层序特点，以及河口坝的前积和垂向层序等特点。

因此，在相建模时，不论是确定性建模还是随机建模，均应充分应用层序地层学原理及沉积相模式来约束建模过程，即应用层序地层学原理确定等时界面及等时地层格架，并在由等时界面限制的模拟单元层（zone）内，依据一定的相模式（相序规律、砂体叠加规律、微