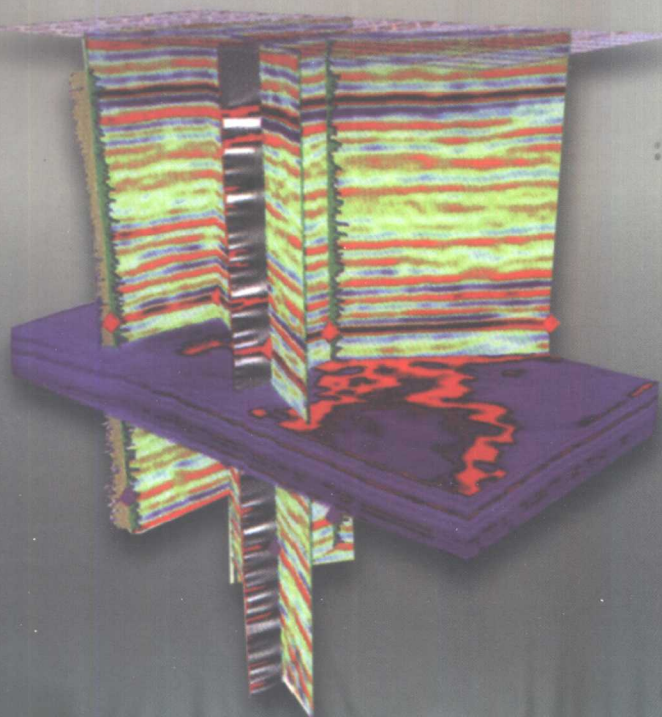


STOCHASTIC RESERVOIR MODELING



王家华 张团峰 著

油气储层随机建模

石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

北京)
2,2

油气储层随机建模

王家华 张团峰 著

石油工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

油气储层随机建模/王家华, 张团峰著.
北京: 石油工业出版社, 2001.4
ISBN 7-5021-3319-4

I. 油…

II. ①王…②张…

III. 油气聚集-储集层-建立模型

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 14086 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)
石油工业出版社印刷厂排版印刷
新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 10.75 印张 266 千字 印 1—1000

2001 年 4 月北京第 1 版 2001 年 4 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3319-4/TE·2488

定价: 35.00 元

序 言

由国人自己编写的《油气储层随机建模》专著即将问世了。这是西安石油学院王家华教授和他所领导的研究小组，十多年来在油藏描述这一新型领域中辛勤耕耘的结晶，为我国储层地质学科填补了一个非常重要的空白。

油气储层随机建模是 20 世纪 80 年代后期刚刚萌芽兴起的一项油藏描述高新技术。它是为适应油气田开发的深入，应用先进的二次采油和三次采油技术进一步提高油气采收率的需求，应运而生的。这就为储层地质工作者提供了一个既是定量化、精细化的，又能实事求是地反映“不确定性”的储层地质模型。随机建模技术既尊重油气储层固有的地质规律，反映某些客观存在的随机性，又能定量地描述由于资料信息的不足和人们认识的局限给储层地质模型带来的不确定性。它为油气田开发战略决策中的风险分析提供了一个重要依据。这正是这一技术刚刚出现就受到石油工业界极大重视的原因所在。

油气储层随机建模技术，是储层地质工作本身高新技术化的体现。储层地质学作为石油地质学的一支，也受到地质传统的一些局限。定性和半定量表征是它常用的手段。如果说近代测井、地震、油藏数值模拟、工程测试等高新技术的发展，为储层建模提供了大量的、精确的定量化的数据，为储层地质定量化创造了很好的环境条件；那么随机建模技术的诞生，可以说是地质学与数学、计算机结合，本身向着高新技术发展的结果。正如王家华教授他们在这专著中阐明的，随机建模是以地质统计学为基础，模拟过程的两步建模程序又是以依据储层沉积学理论建立储层沉积相估价模型为第一步，以此来控制物性等其它参数的空间分布。应该说，这是地质学科发展的一个重要方向。

随机建模技术在国内的应用，应该承认最初是引进学习的。王家华教授他们在这新技术刚刚出现之际，就敏锐地捕捉到它的潜在前景，成立了我国第一个专题研究小组，跟踪学习消化，请进来，派出去，自己动手研制软件，到各油田去宣传实践。他们除承担了中国石油天然气总公司的科研攻关任务外，还在国内一些处于高含水期的主力大油田，如大庆、胜利等，开展了多个实例研究。十多年的孜孜攻研，终于结出了丰硕的成果。他们不仅结合油田生产实际，为开展油藏精细描述作出了贡献，更重要的是，发展了随机建模新的算法，提出了适合我国广为分布的河道砂体储层的随机游走建模方法；编制了我国自己版权的第一个随机建模的软件系统“GASOR”，并不断完善升版。应该说，他们在国内推动和发展这一新技术上，功不可没。

《油气储层随机建模》这一著作的出版，不仅集中反映了他们在这领域的成就，还将为进一步在国内推广这一新技术作出重要贡献。在该书中，他们介

绍了基本原理和基础理论，详细描述了目前通用流行的算法，以及如何应用于储层地质工作，实例丰富，深入浅出，具体详实。为我国从事油气储层地质的广大科研和现场实际工作的技术人员，为即将投身于这一事业的在校学子们，为从事油气田开发工程的其它专业的科技人员，提供了一个新的学习园地、一个学习应用参考随机建模的有力工具。我作为储层地质工作的一个老兵，非常欣慰，并坚定地相信，这本专著的传播，必将引发更多的有志者，象王家华教授他们那样，踊跃参加到这一科研领域中来，为共同发展适合我国陆相储层特色的储层建模技术，为壮大我国石油工业作出更大的贡献！

袁烽楠

于2000年8月盛夏

前 言

一个 16 岁的少年，还有两年的时间才到社会公认的 18 岁成年。自 1984 年 Lake 和 Halvorsen (1984) 发表的一篇论文开始，仅过去了 16 年，油气储层随机建模技术已经得到了世界各国众多石油地质学家、油藏工程师、地质统计学家和地球物理学家的广泛承认。在短短的十多年间，由于他们和计算机软件专家共同努力，把储层随机建模作为石油地质统计学的一个应用领域，有力地促进了油藏描述技术进一步向量化方向发展。储层随机建模已经发展成为系统化的一个方法、一门技术，成为油藏描述技术的有机组成部分，为促进建立三维定量地质模型，改善油藏管理，提高油气采收率和油气产量作出了重要贡献。

目前，从事储层随机建模的人员专业背景相当广泛，从从事数学地质的，应用数学的和概率统计的，到从事石油地质，油藏工程的和计算机软件的，也有从事地震，测井的。人们对储层随机建模技术寄予厚望，试图运用这门技术解决沉积相带和渗透率、孔隙度的空间分布，以及断层、裂缝等的空间分布。同时，人们还在试图运用地震资料进行储层随机建模，并已获得不同程度的成功。进而，人们希望在预测剩余油的分布和加密井的位置，进行非均质性分析，计算油气储量，改善油藏数值模拟的效果，进而提高油气田采收率方面取得经济效益。

在 20 世纪 80 年代的最后一年，随着我们从事地质统计学中的克里金估计在油藏描述绘图中应用不断取得成果，我们承担的“七五”国家重点科技攻关项目“山东牛庄油田油藏描述技术研究”的成果初见端倪。这时，我们开始了随机模拟方面的探索。

最初，我们是从 A. Journel 教授的著作“矿业地质统计学”中了解到随机模拟 (Stochastic Simulation) 的基本概念和基本算法。在那本书中，矿体的随机模拟的算法是用“旋转带法”来完成的。随后，我们对沉积相带空间分布的随机模拟，以及沉积相带空间分布控制下的物性参数空间分布随机模拟进行了长达十年之久的深入研究。沉积相带空间的随机模拟是整个储层随机建模技术中的一个核心问题，也是最为困难的。我们的研究内容包括方法，算法，软件系统和油田实例研究，涉及的内容有地质统计学，随机过程理论，随机几何学，油藏描述技术，油藏工程，储层沉积学，软件工程学和计算机图形学等。

储层随机建模技术和其他技术相比，在信息的获取，加工和转换方面有着明显的优点。

- 1) 以储层沉积学作为理论基础，用沉积相带的空间分布控制着物性参数的空间分布。
- 2) 为把地质，地震，测井和油藏工程等各种不同信息的结合提供了切实可行的途径。
- 3) 利用随机性的概念，较合理处理了测井数据和岩心数据比较稀少造成的不确定性。
- 4) 较好地解决了各种数据分辨率不同给数据和信息的结合带来的矛盾。

在过去的十年，我们承担了储层随机建模方面的十多个科研项目。其中，有“八五”、“九五”国家重点攻关项目的有关任务，有中国石油天然气集团公司的项目，以及各油田的横向合同项目。由于各级领导的支持和关怀，各油田现场的密切配合，这些项目都取得了圆满的成功，先后获 1996 年中国石油天然气总公司（部级）科技进步二等奖一项（“胜利孤岛油田馆陶组河流相三维定量储层地质模型技术研究”），局级科技进步奖四项。在这过程中，我们对储层随机建模技术的方法特点、算法设计、结果分析、软件编写诸方面的理解、掌握

逐步深化。这里，经历了一个以读文献，照搬国外现成的方法到根据国内油田的现场需要，发展具有中国特色的储层随机建模方法及其软件系统的过程。随机游走建模方法的提出和实施，和“储层地质统计分析系统 GASOR”实现，升级及推广应用就是最好的证据。通过这些项目的实施，我们加强了为各油田服务，以及和各油田的沟通，改善了自我的研究条件和手段。我们深深地扎根于国内油田开发这片沃土上，储层随机建模的一朵朵鲜花正在盛开。

计算机软件系统的设计、开发和使用是储层随机建模的一个重要部分，作者多年来在这方面做了大量的工作。把三维储层随机建模的结果数值地计算出来，计算量相当大，对当代功能最强大的工作站系统来说都是一个相当不轻的负担。其数据量巨大，对它们的管理又要求相当灵活、方便。此外，储层随机建模系统的各种各样的输入参数十分繁多。因此，系统的设计在软件工程方面的考虑，要求十分之高。将储层随机建模的结果直观灵活地显示绘制出来并非容易。按地质学家不同的要求，把一个三维的储层地质体的整体趋势和局部细节，表面和实体内部的特征同时清晰地表达出来，往往是比较困难的。人们正在利用计算机图形学和虚拟现实技术的最新发展成果，来解决储层随机建模结果用图件的显示问题。因此，储层随机建模系统是一个十分庞大而复杂的软件系统。限于篇幅，我们在本书中不作专门的表述。

我们在研究储层随机建模的过程中，化去了相当大的精力发展了一个储层随机建模软件系统，并将它定名为“储层地质统计分析系统 GASOR”。GASOR 经历了从最初的微机版本，到目前的 SUN 工作站版本。本书的实例研究的图幅都是利用 GASOR 得到的。只有开发出了我们自己版权的软件系统，并不断完善，我们才能为油田现场服务，才能不断根据现场需要提出问题发展新的适合国情的储层方法，才能在国内外发表理论和实践相结合的研究论文，总之，才能使整个研究走上良性循环的正确道路。通过了十余年研究，我们初步体会到所走出的是一条符合中国国情的，具有我们学术优势的发展油气储层随机建模技术的道路。

我们在为油田现场服务的过程中，逐步懂得了如何运用储层随机建模的先进方法为现场服务。我们千方百计地尽量满足油田各方面的要求，从随机建模方法的选取，到软件系统模块设置，一直到数据预处理的程序的编制，从研究人员的配置到具体的时间安排。

在过去的十年中，我们通过各渠道加强了国际交流，钻研国际上随机建模方面的各种成果和动向，始终使研究水平跟上国际潮流的发展。我们在这里要衷心感谢美国斯坦福大学 (Stanford) 的 A.Journel 教授，法国地质统计学中心 (Centre de Geostatistique) 的 M.Armstrong 和 A.Galli 两位博士，挪威国家石油公司 (Statoil) 的 A.Henriquez, A.MacDonald, A.Nass 等博士，挪威科技大学的 H.Omre 教授，挪威计算中心 (Norwegian Computing Centre) L.Holden 博士，还有加拿大地质建模公司 (GeoModeling) 的中国旅加学者文仁君博士。他们之中，有的是应邀来华讲过学，有的是邀请我们作访问学者去访问。

作为一本专门叙述储层随机建模技术原理的著作，我们力求以比较严谨和比较正宗的语言把其中的数学原理叙述清楚，且用我们在国内油田完成科研项目的例子进行说明。同时，我们又注意运用通俗的观点，使得读者对本书的内容有一个全面的理解。

本书以指示模型、截断高斯模型、示性点过程模型 (第 5、6、8 章) 等国际流行的储层随机建模方法为核心。这些方法主要是来解决确定沉积相带的空间分布。作为对储层随机建模基本方法的一个发展，我们在第 7 章中，首次提出了对于密井网的条件下，利用随机游走模型来确定水下辫状分流河道的流向和位置。这种河道狭窄，分叉会合频繁，给确定沉积

相带的空间分布带来了一定的困难。在国内外的文献未见过类似的报道。我们相信，随着应用实践的不断深入，随机游走模型在储层随机建模中的应用有着广阔的前途。本书也讨论了渗透率粗化的问题（第9章）。它是油藏描述和油藏数值模拟之间的桥梁。作为储层随机建模技术的基础，“地质变量的空间变异性分析”问题和“随机模拟与地质统计学的基本原理”问题，分别在第2章、第3章进行了详细地讨论。为了宣传储层随机建模，本书首先在第2章讨论了“储层随机建模的地质应用”。第1章“绪论”则讨论了油藏描述技术的产生和发展，随机模拟理论，石油地质统计学的形成和储层随机建模技术的特点等问题。

在第5、7、8、9等章中详细讨论了有关的实例应用研究。在这些章节中，展示了我们用我们开发的“储层地质统计分析系统 GASOR”制作的各种二维和三维的储层随机建模成果图。这些图件的大部分是第一次公开发表。

本书叙述的重点是油气储层随机建模在模拟储层沉积相的空间分布方面的应用。这是储层随机建模中一个极为重要的方向。它在储层随机建模发展过程中最早被提出的，并得到充分研究的，最能体现储层建模特点。

我们在从事储层随机建模技术工作的过程中，积累和阅读了大量的国内外文献。本书的有关章节引用了它们，以便读者可以进一步参考。这些文献大多是研究基本原理和基本方法的，和每年发表的大量储层随机建模方面的文献相比，仅是相当少的一部分。

本书为了提高储层随机建模结果图件的显示效果，将其中的一些图件用彩色图幅来表示，并且集中附在本书的最后。

我们都是数学专业的背景。我们在长期的实践中体会和理解了油田地质学的基本内容和基本过程，本书无疑为广大读者提供有关储层随机建模原理的一个概貌。然而从如何把更多的地质观点注入储层随机建模的原理方面来看，本书的内容选择和编排还存在着一定的不足。

王家华教授撰写了绪论、第8、9章，还撰写了第1、7章中的部分内容。张团峰副教授撰写了第1、2、3、4、5、6、7章的有关内容。最后，王家华教授完成了全书的统稿工作。

我们在这里要特别感谢韩家新、任长林、黄沧佃等年轻教师。没有他们的创造性工作，就没有“储层地质统计系统 GASOR”，也就没有储层随机建模的今天。我们十分感谢原野、何聚厚、王红霞、周崇礼、刘崇涛等硕士研究生。他们为计算机软件“储层地质统计系统 GASOR”的开发、应用和推广做了许多工作。

在我们多年从事储层随机建模的过程中，曾得到过许多领导、专家的帮助、支持和指导。他们中间有：赵鹏大、裘怿楠、周成勋、刘宝和、阎存章、刘振武、巢华庆、张一伟、熊琦华、潘兴国、岳登台、罗志斌、薛叔浩、陈丽华、贾承造、陈永武、刘昌玉、章木英、隋军、赵翰卿、赵永胜、赵世发、吕晓光、李伯虎、赵国忠、甄鹏、张明禄、张明礼、阎汉杰、刘昌玉、车翔飞、马宏飞、郑容植、李焕鹏、夏季庄、隋志强、景平、夏键、李宁、卢涛、李元觉、郑强等。我们谨向他们表示衷心的感谢。

我们特别要衷心感谢北京石油勘探开发科学研究所的裘怿楠教授为本书撰写了序言。裘怿楠教授是我国杰出的油田开发地质学专家。他重视和倡导储层随机建模在中国的应用，对我们所从事的工作给予一贯的支持和指导。北京科技大学的侯景儒教授、中国地质大学的王仁铎教授分别对本书的有关章节进行仔细的审阅，我们衷心地感谢他们。这两位教授做了许多开创性的工作，对地质统计学理论在中国的推广和应用作出了杰出的贡献。我们还要感谢我院的陈军斌博士对本书的第9章进行仔细的审阅。

本书的主要读者是从事油气田储层地质学、油藏描述和油藏工程的生产、科研人员以及研究生、本科生，同时也面向从事测井和地震的专业解释人员。本书假定读者已经对期望和方差等概率论的基本概念具有一定的了解，最好是对地质统计学和克里金估计的原理有一定的了解。

王家华 张团峰

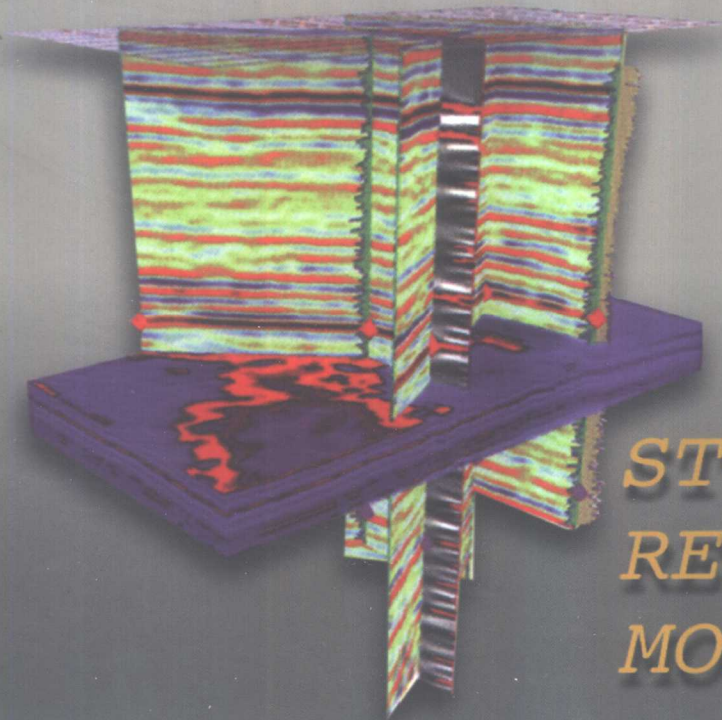
2000年4月

于西安石油学院 计算机系

710065 西安市电子二路东段18号

Tel.: (029) 8382714

E-Mail: jhw@xapi.edu.cn



STOCHASTIC RESERVOIR MODELING

责任编辑: 郎杰 封面设计: 赛维玉 责任校对: 王颜

ISBN 7-5021-3319-4



9 787502 133191 >



ISBN 7-5021-3319-4/TE · 2488

定价: 35.00 元

目 录

绪论	(1)
0.1 油藏描述技术的产生和发展	(1)
0.2 随机模拟理论	(5)
0.3 石油地质统计学的形成	(5)
0.4 储层随机建模技术的特点	(7)
第 1 章 储层随机建模的地质应用	(12)
1.1 非均质性的评价和定量化	(14)
1.2 储层静态行为的研究	(14)
1.3 运用地震数据进行建模	(18)
1.4 两阶段随机建模	(21)
1.5 用于油气产量预报	(21)
1.6 应用于早期的评价到后期开发的整个过程	(23)
第 2 章 地质变量的空间变异性分析	(26)
2.1 随机函数, 协方差函数和变异函数	(26)
2.2 理论变异函数模型	(30)
2.3 各向异性的变异函数模型及其套合	(31)
2.4 实验变异函数的计算及拟合	(33)
2.5 实验变异函数的拟合	(35)
2.6 结构分析的一般步骤	(37)
第 3 章 随机模拟与地质统计学的基本原理	(38)
3.1 地质变量的分类	(38)
3.2 地质统计学基本工具	(40)
3.3 估计与模拟	(43)
3.4 抽样基本理论	(47)
3.5 随机模拟基本原理	(48)
第 4 章 高斯场模型	(52)
4.1 基本理论	(52)
4.2 高斯场模型的检验	(55)
4.3 模拟方法	(57)
4.4 随机分数维场及其模拟方法	(64)
第 5 章 指示模型	(68)
5.1 单变量指示模型	(68)
5.2 协同指示模型	(72)
5.3 软硬信息相结合的指示模型	(74)
5.4 后验概率的次序关系校正及内插和外推	(78)

5.5 DQ 油田的实例研究	(81)
第 6 章 截断高斯模型	(86)
6.1 比例曲线	(86)
6.2 相序规律与高斯函数的截断	(87)
6.3 截断高斯模型	(88)
第 7 章 随机游走模型	(93)
7.1 区域网格化	(94)
7.2 河道源头	(94)
7.3 河道主流线位置	(95)
7.4 分支河道位置	(95)
7.5 河道主流线位置的修正	(96)
7.6 河道加宽与光滑	(96)
7.7 实例研究	(97)
第 8 章 示性点过程模型	(98)
8.1 点过程和示性点过程	(98)
8.2 模拟退火算法	(102)
8.3 示性点过程建模的原理和算法	(104)
8.4 先验模型和后验模型	(110)
8.5 应用实例	(113)
第 9 章 渗透率粗化	(119)
9.1 引言	(119)
9.2 基本理论	(121)
9.3 粗化方法	(124)
9.4 实例研究和方法比较	(135)
参考文献	(144)
后记	(157)
彩色图幅	

绪 论

本章研究了油气储层随机建模技术产生的背景。油气生产和油藏描述技术为油气储层随机建模技术的发展提供需求,随机模拟方法的发展为它奠定了理论基础,而储层沉积学、测井地震处理解释技术和计算机软硬件的发展则为它创造了有利的条件。接着,本章简单叙述了油气储层随机建模技术产生和发展的过程。最后,讨论油气储层随机建模技术的目的和特点。

0.1 油藏描述技术的产生和发展

我国著名的开发地质学家裘怿楠教授在油藏描述、储层三维定量地质模型的建立和储层沉积学等方面做过许多工作,有过精辟的论述(裘怿楠,1982,1990a,1990b,1991,1993,1994,1996a,1996b,1997a,1997b,1997c,1997d)。

0.1.1 油气生产的需要

在主要产油国,随着勘探领域转向了自然经济和地质条件比较复杂的边远地区,促使成本上升。而同时,已投入开发的含油气盆地的勘探开发成熟度很高。已开发的老油田在现有技术条件下预计采收率仅35%左右,大有潜力可挖。挖掘这部分潜力,引起人们更大的重视。且不说采用化学剂的三次采油,仅依靠现有的二次采油技术(注水),通过深入认识储层的非均质性,依靠各种改善了的采油技术,还有19%的储量潜力可供挖掘动用。

在我国石油工业的发展中,为了稳定东部油田油气产量,进一步挖掘已开发的主力油田的潜力,提高其采收率,具有重要的意义。由于采用了注水开发,这些主力油田目前已进入高含水期。搞清目前高含水条件下油藏内剩余油的分布状况,是正确采取挖潜措施的前提。油藏精细描述正是为适应这一要求发展起来的。

油田进入高含水期以后,油层内剩余油分布已高度分散。均匀地成批钻加密井一般已不具备条件,必须优选剩余油富集区有针对性地采取措施。我国一些主力油田都已进入这一阶段。

近年来我国油田开发正面临着从易开发区向难开发区和边远地区、从部分油藏的高含水、高采出程度,到储采基本平衡向严重不平衡过渡的严峻形势。再考虑到中国陆相储层的复杂性,这些都需要对储层进行更加全面深入的研究。目前地下油水分布情况发生了巨大的变化,呈现出高度分散、局部集中,剩余油多分布在差、薄、边部位,开采难度增大等特点。这些主要是由于储层的各种非均质性及复杂的构造断层切割所造成的。因此,为了搞清高含水期老油田地下剩余油分布规律,进一步提高滚动勘探开发工作水平,需要更加精细的储层描述,以预测井间砂体及各种油藏参数的分布规律,建立精细的三维定量预测地质模型(穆龙新等,2000)。

油藏精细描述的目的就是为了建立一个可供研究剩余油饱和度分布的油藏地质模型。这涉及如何估计井间未钻井地区的储层变化和各种参数值。这是进行油藏精细描述遇到的一个技术难点。油田开发的特殊性决定了这一问题的重要性。只能通过井孔了解油藏,而井间

(一般数百米井距)油藏体积比孔隙体积大千万倍。这部分体积的油藏参数要通过少量孔隙资料来推测估计。为了估计值接近于合理和实际,目前出现了两大技术,即以储层地震技术和地质统计学为基础的随机建模技术。

0.1.2 储层沉积学的发展

储层沉积学(Reservoir Sedimentology)的任务是应用沉积学理论和相分析方法,描述各种环境下沉积的油气储层特征(Reservoir Description),是沉积学的一个应用分支。它兴起于60年代,70年代后期比较趋于成熟,在勘探和开发实践中得到比较成功的应用。促使其发展的生产动力是海上油田的大量勘探和开发和改善二次、三次采油提高采收率的需要。海上勘探和开发石油耗资大,发现油气田后希望以较少的探井资料,能对油气藏作出比较正确的估计,以正确设计开发井位和钻井平台,在开发中得到较好的经济技术效果。这就要求对油气藏、特别是储层特征作出比较正确的预测和描述。二次采油注水技术的发展,不断地揭露控制和影响水驱油效果的地质特征,使人们认识到假如开发早期能正确描述出这些储层特征,二次采油的效率还可以大为提高。三次采油方法的大量试验,更进一步说明储层的一些宏观和微观的特性,是筛选三次采油方法的关键;一些三次采油方案的失败,往往是由于没有正确认识某一方面储层特性。出于这些生产实际的需要,应用沉积学理论和方法解决石油开发中的储层描述问题,就应运而生了。

储层沉积学在石油生产实践中,所以有如此旺盛的生命力,仍离不开沉积学的近代进展。关键在于:一是现代沉积调查的大量积累,建立了各种沉积概念模式;二是以水槽试验为主的基础理论研究,加深认识了各种沉积现象的形成机理。

石油生产对储层描述的要求日益从宏观向微观方向发展;储层沉积学工作者力图由定性发展到定量地描述储层。储层沉积学的出现为油藏描述的诞生创造了条件,并为它的进一步发展提供了理论依据。

0.1.3 数字地震、数字测井的出现

地震资料的数字记录和处理,测井资料的数字记录和处理,使得这些资料处理和解释的质量提高了许多。计算机系统的不断提高,计算机地质绘图的功能逐渐完善。这些新技术,有利于对油藏的认识,促进油藏描述技术的诞生。

0.1.4 油藏描述和储层研究

油田开发工作包括两大部分:认识油藏和改造油藏。它们是贯穿于油田开发全过程的两个永恒的课题。它们的最终目的是取得最大的经济效应。认识油藏是改造油藏的基础。油藏地下情况认识清楚了,油田开发的成功则取得了一大半。在认清油藏地下情况基础上,才能确定开发措施,优化开发方法,才能以最少的人力财力投入,获得最大的油气采收率和经济效益。所以,油藏描述作为油田开发的一项基础工作,一直受到极大的重视。随着石油工业的发展,油田开发的深入,油藏描述一直在不断地发展提高。

80年代以来世界上油藏描述的动向,可以用“精细油藏描述”来形象化的概括。“精”就是要提高定量化和精确度;“细”是指描述内容和尺寸越来越细,也就是分辨率要求越来越高。西方在术语上也有所改变,近年来逐渐以“Reservoir Characterization”(油藏表征)来代替原来的“Reservoir Description”(油藏描述),其内涵就是反映了油藏描述这一动向。再具体地说,油藏描述的发展动向可归纳为,宏观向微观方向发展;定性向定量方向发展;单一学科向多学科综合方向发展。

以上诸因素,终于使人们提出了油藏描述的概念,使人们能综合地应用地质、地震和测

井等资料, 以前所未有的程度定量地描述所关心的油藏。油藏描述的概念被广大的地质学家、地球物理学家和计算机工程师所接受, 对于石油的勘探和开发起很大的推动作用。同时, 油藏描述本身从 80 年代初期以来, 在 90 年代有了很大的发展。这主要表现在以下三个方面。

1) 对已有的数据稀少和存在着误差等原因引起的地下数据的不确定性有了进一步的认识, 提出用随机的方法解决油藏描述的问题, 产生了储层随机建模技术乃至石油地质统计学等一系列的方法。

2) 对储层非均质性进行了全面的认识, 提出了针对储层非均质性进行建模的概念。

3) 提出了油藏描述的核心是建立储层三维定量地质模型。

从 1986 年开始, “油藏描述技术研究” 作为 “七五” 国家重点科技攻关项目正式立项。当时的石油工业部组织了有关单位, 在胜利、中原和江汉等三个油田开展了油藏描述的研究工作。随着研究项目成果的不断取得, 油藏描述开始在油气田开发中受到越来越大的重视, 在生产中发挥了越来越大的作用。国内, 一大批有关的专著和论文相继出版发表, 代表了我国油藏描述和储层研究的发展水平。

中国石油天然气总公司在 “七五”、“八五” 期间开展了 “全国油气储层评价” 研究。作为该项目的成果之一, “油气储层研究技术” (陈丽华等, 2000) 总结了储层定量评价和计算机模拟技术, 包括储层随机建模方法、湖盆三角洲沉积过程的数值模拟、储层裂缝定量模拟、油气储层综合评价等, 还总结了储层地球化学、包裹体测试、激光显微取样、核磁共振等新的实验技术方法。

“大庆油田河流—三角洲储层研究” (隋军等, 2000) 系统地总结了大庆油田从 60 年代直至 90 年代储层研究的成果。他们的研究经历了四个阶段: 60 年代至 70 年代早期, 为开创小层对比阶段; 70 年代中期至 80 年代中期, 为动静结合, 从成因上认识储层阶段; 80 年代中、后期, 为全面认识储层阶段; 90 年代以来, 为密井网条件下的储层精细地质研究阶段。该书分为三篇。第一篇概述了大庆油田储层研究工作, 重点介绍了大庆长垣大型河流—三角洲沉积物的沉积环境、三角洲模式和砂体成因类型。第二篇主要介绍了密井网条件下储层精细描述的方法和技术, 包括应用沉积学手段对河道砂、河间砂、三角洲前缘砂精细描述方法和实例, 也包括地质统计学等定量表征方法对储层井间参数预测的探讨。第三篇着重介绍储层研究在油田开发中的应用。

十余年来, 以张一伟教授、熊琦华教授为代表的石油大学 (北京) 油藏描述与预测研究所, 在生产实践中不断探索、创新, 逐步发展了一套适用于中国地质特点的油藏描述的理论、技术和方法 (张一伟, 1992, 1997; 吴胜和等, 1998)。他们撰写并出版的《中国典型油气藏描述与预测丛书》包括了 “现代油藏描述技术” 等十二个分册 (王志章等, 1999)。该套著作比较系统地阐述了我国陆相油田不同勘探开发阶段的、不同油藏类型的动、静态特征, 及其地质模型, 提出了关于陆相油藏、复杂油藏的储层岩石物理相、相控储层对比、相控储层预测、视标准层构成和视储集空间构成的多方面的新理论、新观点和新概念, 发展完善了储层地震预测、多参数识别油气水层、剩余油形成机理及预测、裂缝性储层评价、碳酸盐岩储层表征的方面的配套技术和方法。他们在地质统计学在油藏描述中的应用、储层随机建模应用等方面做了不少工作 (张一伟等, 1992; 吴胜和等, 1998; 王志章等, 1999)。吴胜和等 (1999) 讨论了储层建模的目的和意义、储层模型类型、储层建模流程及建模策略、对各种建模方法进行了叙述和对比。

张金亮在早期的油藏描述研究方面，在已有的少量井的古生物、古地磁及孢粉研究的基础上，结合波形相似性研究及地震地层学研究，首次解决了研究区争论已久的地层划分对比问题（1993）。他们在剩余油分布的研究方面，将储层沉积学方法和油藏工程方法有机结合起来，颇具创新和特色（1995）。林壬子等在储层地球化学、湖泊沉积相及储集砂体、层序地层学、砂岩成岩演化模式、储层地质模型和区域储层评价等六个方面的研究，总结了我国目前在陆相储层沉积学研究的新进展（1995）。

目前，储层随机建模技术已逐步被国内广大从事储层地质的专家们所接受。穆龙新等（2000）总结了储层精细研究的特点和内容、理论基础和方法、储层非均质性表征及定量建模、应用露头 and 现代沉积进行类比性储层地质建模、露头研究成果的应用。他们总结了国内外研究河流、三角洲等沉积储层的各种定性和定量地质知识库，储层预测方法尤其是随机建模的基本理论和应用。吕晓光等（2000）研究了储层随机建模的意义和目前出现的主要随机建模方法。穆龙新等（1994）论述了建立系列定量储层地质概念模型的一套新的研究思路和方法，指出把地质学原理和现代随机建模方法、计算机技术及开发应用紧密结合在一起，代表了储层建模向定量化发展的方向。李元觉（1994）利用假三维条件模拟法储层建模原理，提出了控制层状定容气藏几何形体和储渗体空间连续性的随机变量分布函数以及总体结构的保持算法，以模拟沉积相在各小层的展布为基础，形成了陕甘宁盆地中部气田中区马五 I 储层的数值模型。利用该数值模型所作的储量评价及气藏数值模拟结果表明：该数值模型对井眼之间的储层参数估值更为合理，该方法能自动划出较为准确的有效储层边界，对该气藏较强的非均质性作出了比较确切的定量描述，并在微机上实现了“Windows”环境下中文界面的“条件模拟法储层建模软件”，可作为层状定容气藏储层建模的有效工具。聂昌谋（1996）在胡状集油田的油藏描述中，应用随机建模技术中的顺序指示建模方法对胡 12 断块沙三中油藏 7 油组的渗透率进行了研究，研究表明顺序指示建模方法比常用的插值方法更能反映储层参数的变化，而且能够描述由于资料的缺乏而引起的模型的不确定性。杜启振等（1997）对储层随机建模方法的国内外研究现状及其在油藏描述中的应用进行讨论。张永贵等（1997）讨论了在储层随机精细建模中使用模拟退火组合优化算法的方法和步骤，包括目标函数的构造、选择初始状态、抽样和扰动机制、退火策略参数的选择以及怎样综合多种类型的资料等问题。他们指出在储层建模中使用模拟退火优化算法有两方面的优点，即易于综合多种类型的资料，可以客观地再现储层变量的空间相关结构。其主要缺点是计算量大，有必要进行并行处理。文健等（1998）研究了埕岛油田馆陶组上段储集层随机模型。钟宝荣等（1998）对储层随机建模与条件模拟的计算机实现进行了讨论。张永贵等（1998）综合论述了储层地质随机模拟的意义、方法和技术及其在油气勘探与开发中的应用。赵永胜（1998）指出了随机建模结果使用的局限性。陈霞等（1998）讨论了油藏地质属性的随机建模用于储层研究的两个方向。李龙滢等应用地质统计学提出了用于井间砂体预测的一个方法。徐宁余（1999）提出了随机模拟技术在石油地质研究中面临的挑战和存在的问题，最后提出了使用该技术对陆相储层地质和油藏描述研究的经济价值和事件意义。俞启泰（1999）提出了利用河流相、三角洲相各 5 个具有代表性的小层平面等渗透率图，合成河流相、三角洲相渗透率平面分布数值抽象地质模型的方法和结果。吴晓光等（1999）研究了储层地质模型的类型、研究内容、建模步骤和建模方法。

0.2 随机模拟理论

在英文字典中,模拟(to simulate)一词的解释有好几种:假装,借口,装作,象,类似于,伪装成,模仿,为了方便或训练,按一定的模型来仿制一些条件(或形势)等等。这里,每种意义都有贬义的成分。但在技术方面,模拟一词意味着产生某种结果的模型,而不是利用被研究的真实系统进行的实验。如果这个模型具有随机的成分,那么这种模拟就称为随机模拟。

在第二次世界大战期间,随机模拟就称为蒙特卡洛方法(Monte-Carlo),用以对原子分裂的建模。

至于模拟的目的,Tocher(1963)写了这方面的第一个教科书“模拟的艺术”。他认为模拟是一种艺术,尽管对模拟装置所用的工具也应有相当多的认识。

对于随机模拟,首先需要的是随机性的来源。在随机模拟的算法中,最主要的,也是最基本的随机数发生器。它可以随机地产生一个数的序列,可以做到序列中前一个数完全不能预测下一个数是什么。

然而,目前人们还没有设计出真正的随机数发生器。在计算机中提供的只是一种伪随机数发生器。数学家们还在继续努力,使得设计出的伪随机数发生器如何更加随机化。只有设计出了随机数发生器(实际上只是伪随机数发生器),人们才能对一个一定分布的随机函数进行等概率的抽样。

模拟的目的是和模型的建立紧紧地联系在一起。在统计学和运筹学的范畴内,建模的目的通常有两个:

- 1) 对数据进行概括。用于回归中的统计线性模型就是对数据进行的一种概括。
- 2) 对观测值的预测。回归方程可以在一个新的条件下预测一个系统的响应。这是模型在回答“是什么”方面的功能。

通常存在着两种模型:机械的和简便的。线性模型是简便型的,而遗传的模型被认为是表达了一个真实的过程。工程师们对物理世界的所有的模型,往往是确定性的和机械的。然而,大部分统计模型都是简便的。这些模型,都可用于理解、预测和决策。

如何使用一个模型,人们可以有两种选择。

- 1) 利用数学分析支持帮助的方法,理解模型的功能和特点。对于线性模型,这相当简单。然而,对岩石结构中的流体流动方程和复杂排队系统,这几乎是不可能的。
- 2) 对这个模型去进行实验。一个随机模型的输出可以是变化的,于是人们希望对每组参数,建立若干个实现。

对模型的选择将依赖于使用该模型的目的。模拟善于回答“是什么”的问题,而数学分析往往是用于加深对该模型了解。模拟的应用是一种方法混合的过程:做一次模拟的实验,再对它进行分析产生一个简便的模型,然后再用这个模型去预测和决策。

0.3 石油地质统计学的形成

地质统计学作为随机过程理论在地质上的一个应用,已经存在了近50年。自然界有许多随机现象,如地震,台风的发生,在经济领域,如期货,保险业的发展,以及医学领域中