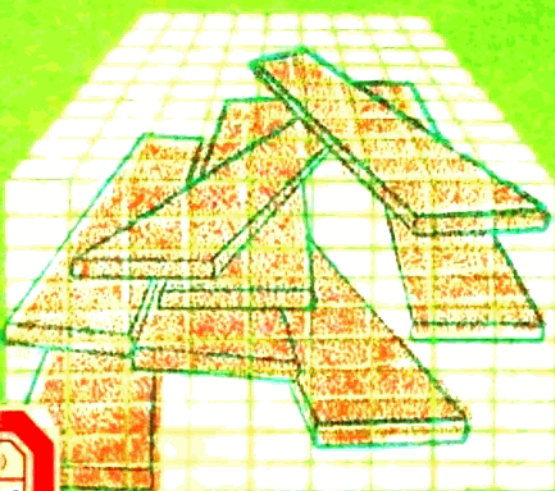


国外储层描述技术



中国石油天然气总公司信息研究所

1718.1322-15

002



081365

中国石油天然气总公司“八五”重点项目
《中国油气储层研究》三级课题“国外
储层研究新技术新方法”系列报告之二



国外储层描述技术

裘怿楠 陈继新

主编

叶良苗 祁少云

SY14/32



200801604

中国石油天然气总公司信息研究所

一九九三年九月

目 录

一、地质统计技术

- 1.第十三届世界石油大会油田开发部分介绍.....裘铎楠 著(1)
- 2.专家知识、数据资料和统计技术在储层表征中的应用.....陈继新 译 张 刚 校(7)
- 3.露头资料在储层描述和求取数值模拟网块参数中的应用...李 伟 译 叶良苗 校(22)
- √4.地震和测井资料在储层建模中的综合应用.....郭祖军 译 叶良苗 校(38)
- 5.仁河油田地质统计学表征方法的比较.....叶良苗 译 李松泉 校(52)
- 6.用地质统计学研究加密钻井动态和储层的连续性.....李松泉 译 叶良苗 校(61)
- √7.储层模拟中不同水平方向分数维分布比较.....穆龙新 译 贾爱林 校(73)
- 8.下白垩统Muddy(J)砂岩的地面地下地质特征和流体
 流动特征的比较研究.....张昌明 译 叶良苗 校(86)
- √9.储层非均质性的分形分布特征及其对流体流动的影响.....叶良苗 译 张昌明 校(97)
- √10.变异函数和储层连续性.....杨雪雁 译 叶良苗 校(117)
- 11.预测俄克拉荷马州Elk City油田宾夕法尼亚系油藏
 储集岩的几何形态和连续性.....赵贤正 译 陈继新 校(124)
- 12.砂岩孔隙度和渗透率的经验预测.....曾国寿 译 赵贤正 校(137)
- 13.挪威中部大陆架Haltenbanken地区Garn组砂岩成岩
 作用与储层质量的关系.....陈明霜 译 陈冬晴 校(149)
- 14.碳酸盐岩孔隙度与热成熟度之间的经验关系——一种
 预测区域孔隙度的方法.....陈明霜 译 陈冬晴 校(164)
- 15.根据测井、岩心和产液资料用综合相分析确定障壁岛
 砂岩沉积的产能.....阎熙照 译 曾国寿 校(171)
- √16.天然裂缝系统描述在石油地质中的定量应用.....周家尧 译 杨凤筠 校(187)

二、地震技术

- √17.储层地震模拟预测技术综述.....祁少云、程金星 编写 陈继新 校(201)
- 18.井间地震技术在油藏描述中的应用实例.....林东龙 译 刘 兵 校(224)
- 19.VSP技术在Oseberg油田中部地区的应用.....刘 兵 译 陈继新 校(234)
- 20.一种油藏成像与监测的新技术——反VSP.....刘 兵 译 周朝光 校(244)
- √21.用于计算薄层厚度和范围的调谐效应的模拟研究.....李文林 译 祁少云 校(252)
- 22.Ship Shoal南区AVO地震岩性特征分析实例.....刘 兵 译 祁少云 校(263)
- 23.从S/P波走时比求取碳酸盐岩孔隙度.....任 俞 译 吕学谦 校(274)

24. 利用振幅随炮检距的变化鉴别孔隙度;以苏门答腊为例…任 俞 译 吕学谦 校(282)
25. 固结储层中孔隙度及烃的地震成像法……………刘 兵 译 陈继新 校(291)
26. 重油开采工程中地震资料的定量应用……………沈维娜 译 刘 兵 校(297)
27. 重油现场热驱遥感的地震监测技术……………周朝光 译 陈继新 校(303)

三、测井技术

28. 一种用于深地层成像及高分辨率地层评价的新型
电阻率测量系统……………杨春胜 译 陈益鹏 校(311)
29. 储层测井和评价中全套随钻组合测井仪的现场
使用经验……………胡允栋 译 陈继新 校(326)
30. 地球化学测井评价……………李 薇 译 廖明书 校(342)
31. 伽马射线能谱放射性示踪测井解释……………陈英豪 译 谭廷栋 校(352)
32. 核磁测井——可靠地用于确定有效孔隙度和剩余
油饱和度实例……………李 薇 译 廖明书 校(363)
33. 一种新型井下电视仪和相应的图像处理技术的
现场演示……………朱怡翔 译 李 薇 校(376)
34. 从井眼图像地层边界导出倾角的方法……………胡 杰 译 冯启宁 校(383)
35. 赤底统气藏油基泥浆井中200MHz介电测井响应评价
……………胡允栋 译 陈继新 校(394)
36. 用高频电磁波衰减和传播时间测井求渗透率和
冲洗带饱和度……………李 薇 译 谭廷栋 校(406)
37. 饱和度指数变化对评价含烃饱和度的影响……………李 薇 译 郝志兴 校(412)

第十三届世界石油大会油田 开发部分介绍

袁烽楠 著

本届大会有关油田开发技术设三个小组讨论会：油藏描述、改善采油（IOR）和测井新进展。实际上是当前油田开发领域中普遍关心的两大热门问题：一是如何综合各种技术提高油藏描述精度，测井的进展只是其中一个手段。二是水平井的出现将对油田开发产生的重大变革。

一、油藏描述（Reservoir Description）

这是从十一届伦敦会议上就开始讨论的问题。当时认为油田开发中两个技术支柱：油藏描述和油藏模拟，后者技术问题已基本解决，而油藏描述很可能还得一代人努力。通过近十年的发展，油藏描述有很大进展：假如说十一届会议上油藏描述还是以地质工作为主，定性的描述为主的话，那么本届论文则是多学科综合向量化大大前进了一步。

油藏描述至今仍是石油界关心的重大问题之一，在于两点：重要性（这是油田开发的基础）和困难性（应该说至今还未完善地解决）。从本届大会五篇论文和讨论中反映出油藏描述的几个主要动向是：

1. 多学科多专业综合是提高油藏描述水平的重要途径

地质、地球物理（测井、地震）、测试（以试井和示踪剂测试为主）和计算机技术（地质统计和各种条件模拟技术）的相互结合，是当前油藏描述主要趋向。近年来除了各项技术本身的发展外，主要崛起的有两大方面。

一是突出发展地震技术为主线。随着三维地震和各种提高地震分辨率的采集处理解释技术的出现，人们开始把地震引入到解决油田开发问题的油藏描述和动态监测中。出现了开发地震（Development Geophysics）和储层地震（Reservoir Geophysics）等新技术。实质是把纵向分辨率很高的测井和侧向覆盖面很大的地震结合起来，达到在三维空间定量描述油藏的目的，特别是实现井间规模的描述（Inter-well scale）。基本做法是地质（地质概念、岩心等）刻度测井，测井刻度地震，把地震信息转为地质信息；定性的岩性岩相识别和甚至定量的岩石物性解释。目前常用的是反演的声阻抗剖面（名称、方法有各种大同小异，基础是声阻抗剖面）。这届会议上提供的几个实例都是做到了定性的岩性岩相识别。苏联文章中提出了以相对自然电位比值与岩石粒度、孔隙度、渗透率建立关系，而又把地震振幅与相对自然电位建立关系，听起来有些过份，实际很难做到。

应用地震遇到的主要矛盾是纵向上分辨率远比测井要低。一般地面地震主频40Hz，要

分辨到厚10m以下砂体是很困难的。(苏联文章提到 $<7\text{m}$)。讨论会中提供的实例,加拿大的Terra Nova油田地震无法用于研究储层;法国巴黎盆地一个储气库应用中,只能对井深1150m、厚60m的三叠系冲积砂砾岩层作为一个层来识别,内部实际存在的三组砂层无法再分开,而在识别岩相时又遇到含气体干扰,部分无法判别。

为解决这一问题,目前正在发展井间地震(Cross-well Seismics)。井间地震用两种采集和解释方法:层析法(Tomography)和反射法,层析法利用传声时间反演技术估计储层速度场,然后把速度变化解释岩性和流体变化(饱和度或热前缘)。反射法提供详细的振幅横剖面,然后可以如常规地震剖面那样进行解释。井间地震还存在井下震源,以及采集处理工作量极大等问题。

讨论会上对地震在油藏描述中的应用认为根本是要解决分辨率问题。会上地球物理学家强调这是一个大方向,大有前途但不要过分乐观,像我国这样的陆相储层,以砂泥岩薄互层为特点,难度更大,寄希望于井间地震或更高分辨率的采集解释方法。

二是突出发展地质统计技术为主线(Geostatistics)。这是地质工作本身与计算机技术结合的一种发展。基本思路是在野外做露头工作,通过密集采取岩样,实测孔、渗等岩石物理参数,把所研究的这一种沉积砂体内部物性变化的原型(Prototype)揭示出来,然后用各种地质统计方法来模拟它,抽稀控制点,用某一种方法能把控制点间的参数模拟得与实际接近,这样就可应用于地下地质实际工作中。这种用各种或然率模型来作地质图件的方法也统称条件模拟(Conditional Simulation)。名词上易于与以流体流动模拟为目标的油藏数值模拟相混淆,这是两个不同概念。条件模拟是在已知点间产生物性参数(如渗透率)分布的一种统计技术。流体流动模拟是研究流体如何在这一渗透率分布场中流动。

目前已发展了很多用于条件模拟的或然率模型(如Boolean和Marked point models,马柯夫及高斯随机场,指示克里金,分维……等);可供针对不同的非均质特征和不同资料量的条件下选用。

这种用地质统计技术描述油藏有几个特点:①是在地质知识(如露头研究)控制下进行;②是在同一资料条件下得出几种可能的描述;③是可以估计这样的描述会有多大误差。目前美、法等很多石油公司、大学院校、科研机构都在进行。

本次会上美国德州大学石油工程系的Lake宣读了这方面的论文。该校有一个研究组长期在进行这方面研究。他们在亚利桑那州北部一个Page砂岩的风成砂露头上密集取样,实测了10000个以上的渗透率数据,已研究了好几年,过去发表过很多文章。他们取其中一块露头以实际渗透率分布(11000个网格点)作混相驱数值模拟,以此结果作为确定性的“真实”结论。然后把这一模型两端作为实际钻井得到的两个资料点,一注一采;中间渗透率变化以不同条件模拟方法来产生,以混相驱数值模拟结果与“真实”结果对比。一致时认为这种产生渗透率场的条件模拟技术适于这类砂体。该实例结论是分维方法(Fractal)最好,优于克里格方法(Kriging)。

这是近年来一部分人比较热衷的研究思路。看来也是任重而道远。不同沉积类型砂体,其渗透率三维空间分布各有特点,必须分别摸索适于各自的统计模型;同一砂体很可能在不同驱油机理下也会要求用不同的条件模拟方法。Lake提出的实例是风成砂岩,层内层状渗透率级差很大,又是采用的高流度比的混相驱机制,所以他的结论渗透率各相异性影响很

小，用分维条件模拟效果好。而过去未进行数值模拟前地质家们认为克里金效果好。这将需一个长期积累资料和经验的过程。应该说目前还处于探索阶段。

2. 不断提高单项技术本身水平，精益求精，促进整个油藏描述水平的提高

综合是必由之路，但基础仍是单项技术本身的发展。除上述两方面新近崛起的技术外，本次讨论会上对过去早已在油藏描述普遍应用的另两项技术——测井和试井，也表明了有很大发展。

测井的进展以回顾和展望的形式，分别由雪佛龙公司的Timur和苏联的Savostianov对裸眼井和套管井测井技术作报告。给人影响较深的是：

(1) 近年发展一套成像技术。包括微电阻扫描(FMS)，阵列感应测井(0.25—2.25m探测范围的5条感应曲线)，三维的声波井筒成像技术。可以直接观察薄层、岩性变化、裂缝、层理构造等微细现象，还可以组合成从井眼、侵入带到地层的一个完整成像剖面研究流体分布。

(2) 地球化学测井。以诱发的自然伽马能谱(IGRS)测井可以测得10个以上元素成分(钾、钍、铀、硅、铁、钙、钛、钆、钆、钆等)，藉此进一步判别矿物，包括粘土类型，计算基质密度，阳离子交换能力等等。

(3) 核磁共振测井(NMR)。可以直接评价孔隙度、渗透率、束缚水和残余油饱和度，重油带中含水饱和度和含气砂等。近几年最引人注目的发展是自旋回波核磁共振测井(Spin echo NMR)探测直径和厚度可达255.6mm和2.5mm不需泥浆校正，不依赖岩性直接测孔隙度，从而得到束缚水饱和度。

讨论会上认为这将是测井的重大革命。

(4) 随钻测井(MWD)。已可以测电阻、感应、自然伽马、自然伽马能谱，中子和密度孔隙度，以及光电吸附指数(Pe)等。随钻测井对地层评价将产生根本变革。它可以得到未受泥浆伤害的地层信息，与MAD(钻井后测井)结合起来可得到时间推移测井信息。可以在非常困难的井况下测井；可使钻井条件更安全。也可用于探井等。估计将代替部分电缆测井。

(5) 测井信息处理解释。建立岩石物理模型是测井解释的关键。作者认为目前还是薄弱环节。如饱和度解释还建立在阿尔奇经验公式上，作者认为 n (饱和度指数)可变化于1—4，甚至高达25之间。有些经验公式需要难于得到或变化范围很大的经验参数，目前岩心实验技术发展很快，如CT、NMR、SEM、X-衍射、CEC等应用和测量，模拟油层条件的测量等，将会帮助测井解释的提高。

试井方法在加拿大Wilcox论文中得到成功应用。试井方法在油藏描述中用于确定物性参数，确定边界，估计控制储量等是常规手段，但由于其反演解释的多解性，受到应用上的局限。这次Wilcox提交的论文，除常规处理试井资料外，结合地质、地震资料建立地质模型，用数值模拟方法正演试井曲线，使判断断层边界达到符合率80%以上。为实现数值模拟拟合试井曲线的续流段，在近井地带把网格进行了精细化等处理，效果较好。这是值得我们在油藏早期评价中借鉴的。

3. 还没有形成一套定型的普遍通用的方法，必须根据研究对象具体条件选用适合的方法。解决油藏早期评价效果较好，为油田开发后期和提高采收率服务的精细描述任重而道远

这是本届大会油藏描述讨论得到的总的结论性的印象。

总的必须走综合各学科各专业之路，单靠哪一项技术要解决油藏描述这一复杂问题是不可能的。但又由于各项技术各有特点和局限性，在实际工作中常常会以某一项技术为主解决实际问题。要求油藏地质师要善于根据工作对象的地质特殊性，综合运用好各种手段，具体问题具体解决。这次讨论会上提供的实例都是根据本油田的实际地质特点和资料条件，侧重以某一种方法解决本油田的实际问题。设有一个统一的格式和途径。这是我们今后工作中要特别强调的。

从发表的论文和讨论中还可看出，现有技术方法，对提高油藏早期评价阶段的油藏描述，都在不同程度取得好的效果。但为油田开发后期及提高采收率阶段服务的精细油藏描述，还有许多技术问题需要解决。地震的层厚分辨率，大量的露头调查和地质知识库的积累，条件模拟方法还未成熟……等等，可能还得有一代人的努力。

二、水平井改善采油

本届大会以“油藏管理和改善采油（IOR）”命名一个小组会。未设过去几届都有的“EOR”（提高采收率）讨论会。过去改善采油（IOR）与EOR的区别是指在注水二次采油基础上增加一些改善措施的采油方法，如注稠化水、碱水、硫酸等。本次大会讨论的所谓改善采油则全部为水平井改善采油，6篇宣读的论文中4篇讲水平井，其它两篇为EOR问题。三篇张贴论文全部为水平井。这标志着两个意义：水平井的活力在于提高开发效益和改善采油，以及水平井的出现将使油田开发产生根本性的变革。

四篇宣读论文中，一篇是阿根廷提交的介绍如何预测水平井产量及变化历史，以正确评估经济效益，这是钻水平井决策前必需的。一篇是加拿大用水平井开采西部Lloydminster区的薄层（ $< 10\text{m}$ ）带边底水重油油藏的实例，使这一处于边际经济条件的重油可以投入经济开发。一篇是丹麦北海白垩系白垩土油藏以高孔隙度（30%）、低渗透率（ $< 1\text{md}$ ）、具气顶底水为特征，在油气—油水界面间钻水平井，并且分层压裂，可选择性开关层段，经济有效地开发了薄油环。最后一篇是法国Elf的Bosio宣读的综合性文章：“水平井的现状和将来”，比较系统地阐明了水平井在改善采油中的作用和发展前景。

1. 水平井技术成熟，成本降低，已可以作为与垂直井同等地位供经理和油藏工程师选择

目前水平井成本约为钻垂直井的2倍，（受完井方法影响很大），产量可以远比这一数字大得多的倍数增加。产量增加是由于改变了油层内的流动条件，增加油井与油层的交流界面，把径向流改变为平面流，减少了流速与压降。这样可使排油组构（Drainage architecture）最优化。

认识油层（包括取心、随钻测井及钻后测井），选择性完井方法、固井、防砂技术、压裂等技术已基本解决，因此水平井几乎可以用于各种油藏开发。目前唯一较大的限制是极低的垂直渗透率，认为现在开发一个油田时，油藏工程师不应提出这样的问题“是否应试一下水平井？”而是应这样问：“是否有任何理由不用水平井？”

对于老油田，通过套管开窗口侧钻水平井同样可以改善采油（美国德州奥斯汀白垩层垂直裂缝油层已完成一口）。

2. 水平井在改善开采中可以预期解决以下问题

- ①薄油层（一口井代替多口垂直井）；
- ②锥进问题（把水平井放在合适位置）；
- ③带垂直裂缝的致密层（横穿裂缝）；
- ④提供油层侧向变化的重要非均质性资料；
- ⑤海上勘探发现井，堵井底，套管开窗口侧钻，立即可获得丰富的油层资料，可减少钻评价井，并可利用水下装置投产，取得动态资料；
- ⑥减少每个平台井数，缩小平台规模，减少费用；
- ⑦延长水平段，减少平台数；
- ⑧可在海上浮式钻井船上钻水平井，也适于水下完井；
- ⑨可提供三维的排油组构，适合于油藏及流体特点；
- ⑩老垂直井开窗侧钻水平井；
- ⑪由于井数减少，改善环境保护；
- ⑫改善采油也可改善注入，提高采收率，在注入昂贵化学剂时，很快到达生产井，减少降解损失等；
- ⑬减少加密井费用，如北海现有平台上留有的备用钻孔已很少；
- ⑭可以分支侧钻多支水平井，增加排驱面积（阿莫科在路易斯安那州Anona白垩层中钻8个小支，像鱼骨似的）；
- ⑮可以根据水平井排驱长度调节产量；
- ⑯对气井生产还有有利条件，在同样产率下，流速及紊流可以减少，出砂减少，修井工作量减少；
- ⑰对于井间地震，井——地面地震，利用水平井可以取得更多信息（法国Elf已试验）。

3. 水平井在改善开采中应用，要研究以下一些问题

- ①井应钻在何处？
- ②选择最佳排驱组构，达到最好产量和采收率，最大地抑制锥进。
- ③二、三次采油时，注/采关系最好。

这样，完善的油藏数值模拟技术是很重要的，在钻水平井以前必需适当预测开采过程和经济效益。这方面目前还需改进。

数模还应指出最佳水平段长度，这是一个很难对付的问题。至今没有人在钻水平井前确切确定合理的长度。如Elf已钻30口水平井不是由于地质原因便是由于技术原因而停钻。

这个问题还有待进一步研究，要考虑几个因素：

- ①费用及风险性；
- ②随长度增加的压力损失；
- ③钻井时的井筒的稳定性；
- ④油层的非均质性和不规则性。

4. 水平井不是万能的，假如没有一个多专业的工作队仔细设计，它仍然是经济上技术上非常风险的作业

1990年全世界钻了750口水平井，比上一年翻了三倍，但绝大多数还是用于两个目的：横穿垂直裂缝和避免锥进。一些水平井的失败就是由于油藏原因。

讨论中很多人关心水平井的成功率 Bosio认为现在发表的都是成功的实例，不成功的很少发表，他希望下一次会议能专门讨论失败的实例，以取得更多的经验。对于到2000年，有30%或50%的开发井将是水平井的估计，谁也不能确切知道，但可以肯定是很大的数字。因为过去10年中所出现的新技术中，水平井位居第一。

至于水平井钻井技术问题将由钻井方面总结。

三、建议意见

1. “七·五”以来我国油藏描述作为国家攻关项目取得了很大进步。但作为核心部分“开发地震”，还没有完全突破，只是在一些特殊地质背景条件下取得成功。如胜利牛庄油田大段泥岩中夹透镜状砂岩，砂体预测效果较好。对于我国进入开发后期的主力油田，大量存在的薄层砂、泥岩间互的储层，地震分辨率还远未过关，应针对这类油层，由易到难，选择试验区；逐步开展开发地震工作，摸索经验和方法，包括井间地震的技术攻关。各油区都来搞，总会取得成果的。

针对陆相油层，开展露头调查，发展地质统计技术，这条路子也应坚持。“八·五”期间已在总公司重点项目储层研究中列入，但由于力量资金有限，工作量很少，满足不了也跟不上国际上发展步伐，建议要加强这一部分科研工作的投入。

2. 水平井不是为钻水平井而钻水平井。主要是服务于油田开发，为改善采油而钻水平井。原国家攻关项目把水平井的开发研究排除在外只列入钻井技术是不合适的。应该说国际上钻水平井的技术本身已比较成熟，如何应用好水平井，针对不同油藏类型，取得更佳效果，应是水平井研究重点，至少是同样重要。建议尽快把水平井的开发研究列入国家项目，组织力量同时开展攻关。

专家知识、数据资料和统计技术 在储层表征中的应用

Peter Corvi 等著

陈继新 译
张刚 校

一、引言

要准确地模拟油田动态需要知道整个油藏的特性，如孔隙度和渗透率。然而，提供大部分数据的井眼仅占整个油藏体积的几十亿分之一。把这稀少的数据资料转换成模拟流体流动的地质模型，这仍是工业优先考虑的问题。

储层的最简单表示就是特性全都均一的均质罐。这种简化模式的表征只需要足够的信息就可以确定其体积和基本岩石物性。然后这种信息可以用来帮助预测油藏特性和对比可能的生产趋势。

但是，有效地采出储量需要更完善的方法。储层是由复杂的沉积和成岩作用产生，并经历了构造变化史的改造。储层在每个规模上都是非均质的，而不是像简单的罐。对储层作准确的表征是石油公司经济计划的关键(图1)。

过去，地质专家们利用专家知识作井间内推以建立基本储层模型。然而在最近十年，这种工作已被统计模拟

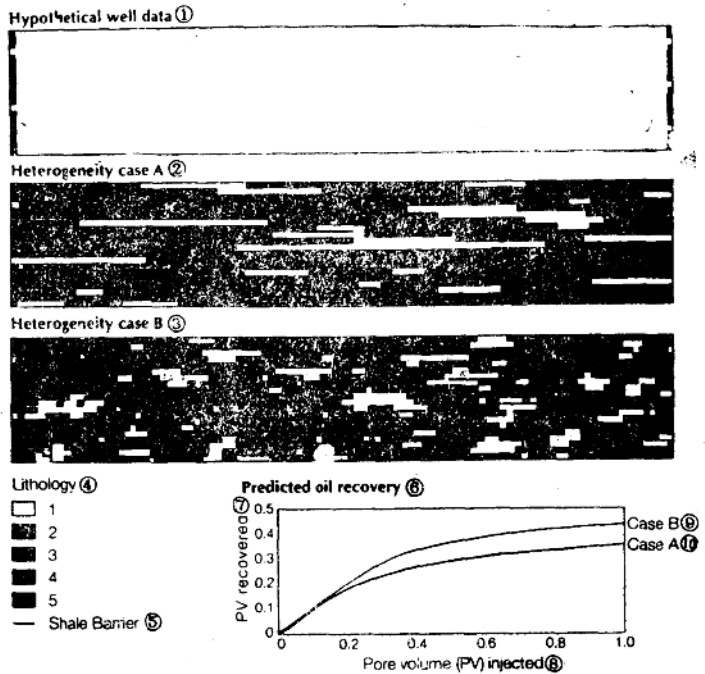
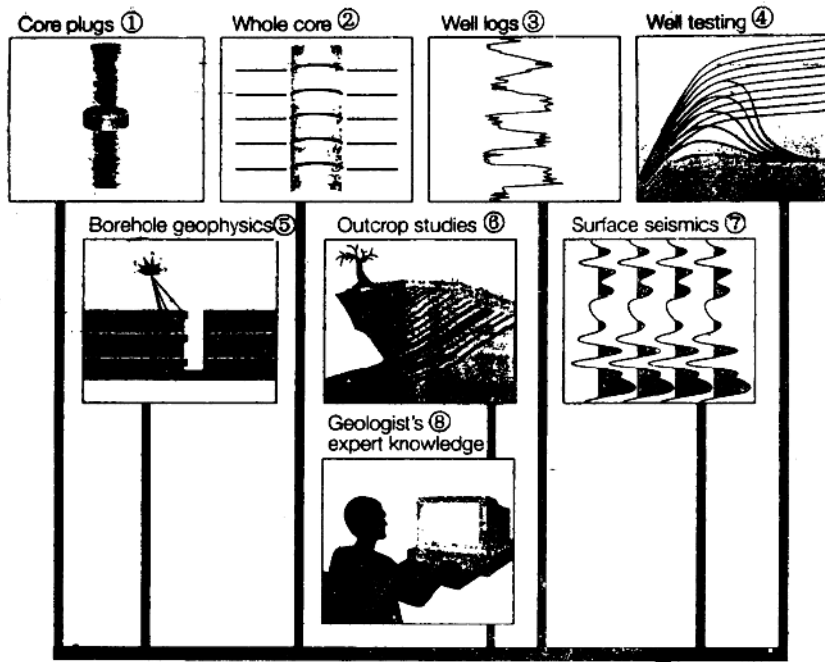
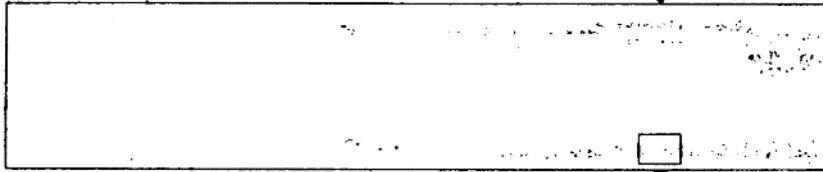


图1 非均质性如何影响产率。该实例由英格兰BP研究开发。在假设的两口井间内插两个不同模型。岩性一样，只是其空间对比作了改变。曲线表示两个模型采出的孔隙体积与注入孔隙体积的变化。当注入1个孔隙体积后，两种模式采收率差别约为0.1个孔隙体积

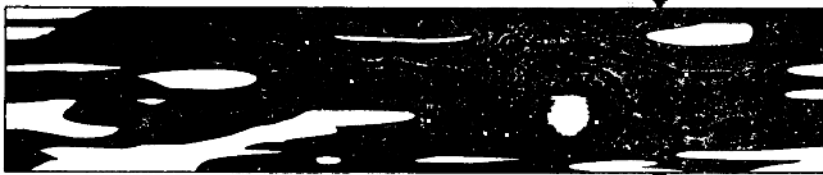
①假设井数据；②非均质性A例；③非均质性B例；④岩性；⑤页岩障壁；⑥预测原油采收率；⑦采出孔隙体积；⑧注入孔隙体积；⑨B例；⑩A例



Stage 1: Defining large-scale structure ⑨



Stage 2: Defining small-scale structure ⑩



Stage 3: Scaling up ⑪

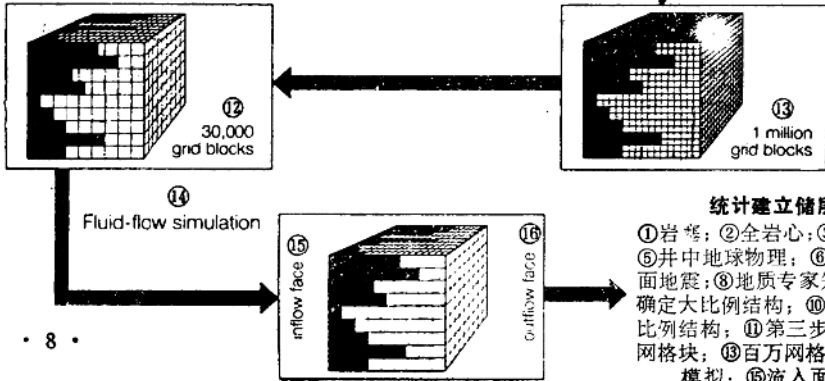


图2 用测量数据、专家知识和统计建立储层模型的三个步骤
 ①岩芯；②全岩心；③测井；④试井；
 ⑤井中地球物理；⑥露头研究；⑦地面地震；⑧地质专家知识；⑨第一步，确定大比例结构；⑩第二步，确定小比例结构；⑪第三步，放大；⑫30000网格块；⑬百万网格块；⑭流体流动模拟；⑮流入面；⑯流出面

所代替，后者可洞察非均质性的作用。

本文详细论述了如何进行储层描述，并划分为三个步骤（图2）：

- 用确定性数据确定储层大比例结构；
- 用统计技术——地质统计确定小比例结构；
- 重新确定详细地质模型的比例，以便输入流体流动模拟器。

二、确定大比例结构

第一步目的是建立尽测量所能允许的详细的储层地质描述。所用的资料包括地震资料的构造解释、岩心和测井的静态资料和试井的动态生产资料。此外，地质学家还增加了有关地质构造方面的专家知识，这些知识是从野外调查和露头研究中取得的（见附录一：露头资料的采集）。

第一步是识别沉积单元，然后可能的话作井间对比。它有助于了解沉积单元的一般形态和沉积次序，以及可能获得的每个单元宽度、厚度和长度之间的关系。井间对比可利用传统的原始底图、测井或当前的人机联作工作站。工作站较易进行微细对比，它使地震、测井和其它资料同时形象地显现出来。

在大多数情况下，这种大比例表征的结果是常规的层状模型——近均质层的堆积。毫无疑问，许多储层的表征应该用更复杂的沉积单元组合——如“拼合”和“迷宫”模型（图3）。如何使用这些更复杂模型常常是工业努力的目标。

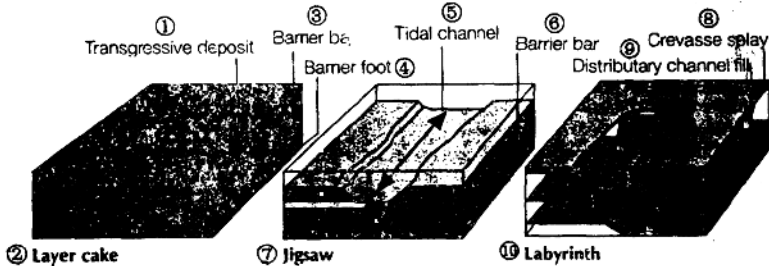


图3 储层类型的确定。目前的大比例表征趋向于建立简单层饼模型。然而正在努力建立更复杂的模型，如拼合和迷宫模型

- ①海侵沉积；②层饼模型；③障壁坝；④障壁脚；⑤潮汐道；⑥障壁坝；⑦拼合模型；
⑧决口扇；⑨分支河道冲填；⑩迷宫模型

三、用地质统计模拟确定小比例结构

一旦描述了储层形状及其大比例结构以后，下一步骤集中确定每个沉积单元内非均质性。这就要求作详细的井间测量，而且比目前能做到的更为详细。井中地震资料一般不能跨越井。尽管地面和井间地震资料哪个地方都能达到，但没有足够的知识把地震资料和岩石物理性质联系起来，而且地震资料也没有足够的分辨率。此外，试井资料常缺乏定向信息。因

此，需要非确定性或地质统计方法。

大比例储层模型一般由几千个网格块组成，每个网格块大约100平方米和1米多厚（约1000英尺²乘3英尺）。但是，用于解决小比例非均质性的模型常需要使用更小的网格块——1百万个或更多。需要大量的数据填入这样多的网格块中，这也需要地质统计。

地质统计技术用于提供未曾得到的资料，可分为两种，一种是可改变已知点的性质，另一种是组织数据。性质的改变有两类，即连续的和分散的。连续模型适用于象渗透率、孔隙度、残余饱和度和地震速度这样能取值的性质。分散模型适用于可用几种可能性之一来表达的地质性质，如岩性。

1. 网格块模拟

网格块模拟所用的主要地质统计方法之一是克里格法。它是以岩石性质估计先驱D.G. Krige来命名的。他曾在南非金矿做过一系列经验研究。克里格是用于呈现测量数据，并建立可进行空间对比的非均质性。该项技术的核心是两点交叉型统计函数，称作变量图。它描述的是在两个样品值间随着其距离的增加而可比性降低。克里格法目的是使插入值和实际（但未知）值之间的误差达到最小。

对于已知性质，变量图是据井的一般测量数据对建立的。在油田，克里格法中心一个难点是在与矿区相比井资料密度低的地方。为了克服这个难题，另可根据露头或成熟油田的测量数据建立可对比的变量图，在这些地方可更好地取样。

尽管变量图一般用于推断单个变量的空间连续性，但同样的方法也可用于研究许多不同变量的横向连续性，例如某一位置的孔隙度可与地震传播时间对比。一旦建立这种关系后，这种横向对比可用于多变量回归，称作共克里格法。用这种方法就可以计算油田范围孔隙分布图。它不仅可利用孔隙度资料，而且也可用更丰富的地震资料。

克里格法和共克里格法都是解决定量的或硬资料。第三种方法是把专家信息（也称软资料）和定量资料结合起来，称作软克里格法。专家资料是以不等量或概率分布的形式进行编码。例如在制油/气界面（GOC）图时，如果在井下没有遇到该界面，软克里格法就可以用不等量法：油/气界面可能比井深还深。

以上这些克里格法的结果是平滑内插，没有描述小范围的非均质性。用称作随机模拟的方法，即把相关非均质性（或简称噪音）重迭到平滑内插之上，可产生更真实的图像。概率分布决定了这种非均质性产生的方式。一般可产生许多图像或实现，每个图像都叠加上了从同一分布取样的非均质性（图4）。通过分析许多实现，就可以研究地质不确定性影响储层性质的范围（图5）。

以顺序高斯模拟（SGS）作为例子。用网格块建立数据。首先选择网格块，用现成测量数据和克里格法可计算出平滑内插

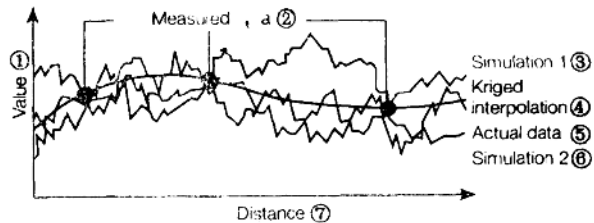


图4 模仿真实变化。克里格技术产生平滑内插，忽略自然界真实的小比例非均质性。通过把非均质性加到克里格内插，随机模拟可产生更真实的实现

①值；②测量数据；③模拟1；④克里格内插；⑤实际数据；⑥模拟2；⑦距离

值。也可用克里格法计算内插值及其方差。这些值可确定高斯分布方程。该方程的噪音值是随机勾绘的，并叠加到内插值之上。然后，随机选择，并重复这一过程。把这种新得出的数据与测量数据一起作为新的数据库。由于网格被充填了数据，以前所计算的所有值都为下一步计算做出了贡献。

该项技术取决于正态分布的储层性质，因此象渗透率这样非对称分布的性质，要求转换成正态值。一旦所有网格都填满数据，就必须进行这种转换。

随机模拟产生噪音的更常用方法是应用分数维概念，即更现实地模仿自然的统计技术。分数维的目标是各种比例的观察都有类似的变化。把分数维目标划分为更小区域的每个目的是产生更为相似的结构细节。这就简化了随机模拟。变量图的确定是依据单个数，即分数维，该数值是据储层或露头测量数据计算出来的。由于分数维是自相似的，噪音的方差仅需要在单一比例上确定。分数维模拟已用来预测几个大油气田的生产性能。最近的研究也已应用分数维方法研究可溶气驱的某些问题。

分散的数据要用专门的内插技术，即示踪克里格法。这可与随机模拟相结合，形成顺序示踪模拟（SIS）的方法。例如必须选择砂岩或页岩的模型，就没有中间选择余地。同时，必须引入随机单元以取得多次实现。例如考虑建立这样的模型，其中砂岩为1，页岩为0。示踪克里格法给每个网格块赋一些介于0—1之间的值，可显示可能的岩性。例如，值0.7表示砂岩的概率70%。在随机阶段，这个百分比可用于衡量网格块砂岩或页岩的随机选择。

2. 目标模拟

在目标模拟中，储层模型的图像是依据成因单元例如砂岩体或页岩障壁坝建立的，每个单元都有均匀的内部性质。这些模型的建立是从均匀背景基质开始的，并给单元增加相反的性质：或给页岩障壁坝赋予高渗透率背景，或给砂岩体加低渗透率背景。

当从高渗透率背景开始时，页岩的垂向分布可据岩心、测井，特别是自然伽马测井，来推断。但是很难知道页岩横向规模，除非井距相当密集。部分页岩可进行井间对比，但大多数不能，因此其横向分布范围必须用统计产生。

这些随机页岩据大小分布随机勾绘，并随机放置，直到取得预先计算出的页岩密度。页

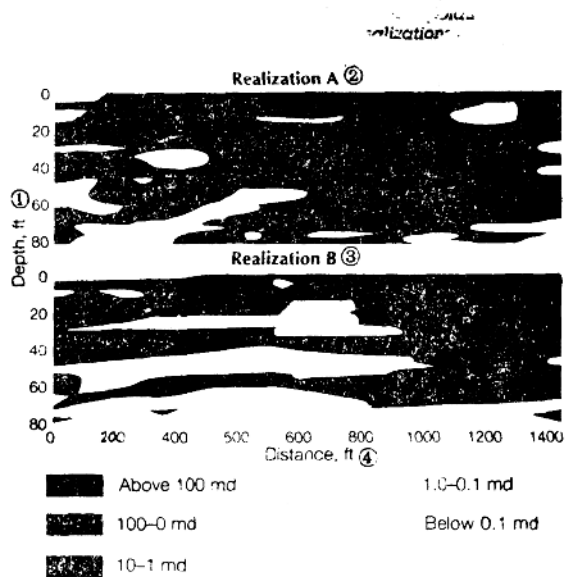


图5 储层渗透率的两个随机实现，它表示了将不同的噪音加到同一克里格内插如何产生完全不同的实现。在水平和垂直方向上，实现A的连续性较好，而实现B的连续性较低。通过测量渗透率100毫达西或更多的连续网格群大小可以判断其连续性

①深度(英尺)；②实现A；③实现B；④距离(英尺)

岩的密度是依据井下测量的页岩累计厚度与总产层厚度的比较估算出来，然后假设它代表了所研究的储层体积。为了确保实现能体现确定性数据，首先把井下观察的页岩放进模型中，其横向范围仍随机确定。随后，剔除横切井的随机放置的页岩（图6）。



图6 目标模拟中的随机页岩。每层随机页岩的位置是随机的，并不取决于其它页岩。每个单元都是据大小分布函数随机勾绘的，并放在随机位置，直到取得所需要的页岩密度

要建立这些模型，地质学家专用的关键统计数字是页岩长度和宽度，及对其相互关系的说明。在传统上，地质学家只定性描述页岩，如宽、广泛或透镜体状。这对于建立现实随机模型来说过于模糊。相反，需要长度和宽度范围，以及总产层厚度和平均页岩密度。沉积环境对这些值有较大影响。这些资料的初步来源是露头研究。

在理论上，类似的方法可用于建立以低渗透率为背景的砂岩体。然而，英国BP研究中心已开发出SIRCH系统，（储层综合表征系统），用沉积形状的信息库建立现实储层非均质性。每个形状都有一组属性，这些属性的确定依据了对沉积学和沉积体系的观察。这些属性确定了每种形状储层模型的大小和位置，及其与其它形状的关系。

例如，河道带可建立成特定形状连续链。建立带后，对属性输入值可从信息库中重复取样，所建立的带可以条件化，以吻合井下数据。模型也可以断开和组成构造，以说明区域倾斜，并用所勾画出的储层顶、底界固定，以求得构造图上的储层体积（图7）。

SIRCH仍是随机的，因此，评估储层特征需要许多实现。这些实现可用于估算指定层段内的砂岩体积、井周围某一半径范围内的储层连通性和油气储量。该方法已证明在指明结果对输入参数的敏感性方面具一定价值。这为进一步研究输入参数的重要性提供了可能和目标。

所有这些技术各自均匀绘了总体蓝图的一部分。在大多数情况下，全面观察储层需要混合分析（见储层表征的HERES/M方法）。目标分散模拟可用于描述储层大比例非均质性，如沉积单元，而不同连续模型可以描述每个单元内参数的空间变化。例如，对于河流环境，BP研究中心正计划用SIRCH建立河道，SIS用于在其中建立相，SGS用于建层相内的渗透率。

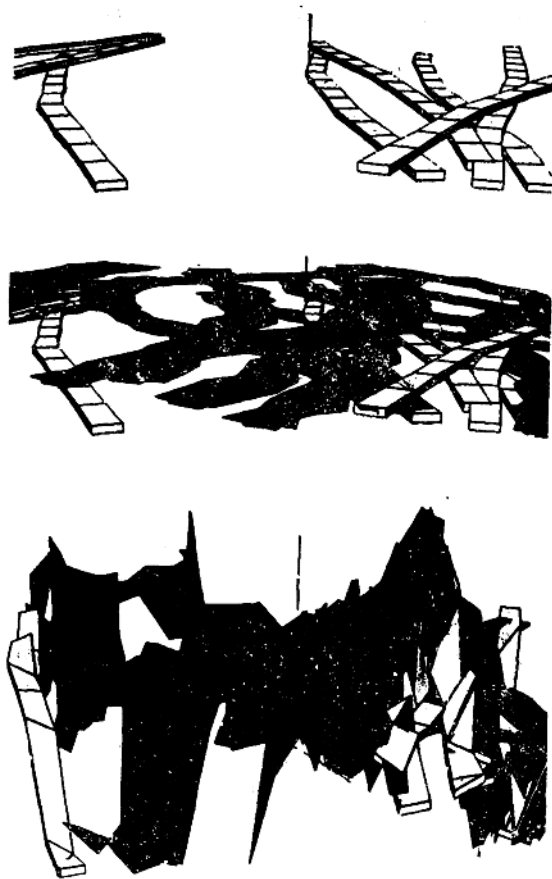


图7 用SIRCH建立目标模型，这是BP勘探部开发的软件包。在该模型中，分三个步骤建立了河道带的两种不同类型。首先，建立一种类型河道带，然后再建立第二种，并加到第一种类型上。第二种类型与河漫滩沉积有关，它有比较薄和质量差的砂岩，但还是改善了连通性。最后是断开组合的河道带。

每个河道带大约有50个参数，有些参数是常数，有些是从输入分布中随机选出，有些是从其它参数中计算出来。确定河道形状的参数包括宽度、厚度、可达长度、角度方位和深度。流体参数如渗透率和孔隙度的赋值既可用岩性，也可用随机取样。所有井的数据都表现出了。净厚度与总厚度的比率可用于控制所建立砂岩的数量

四、重划用于流体流动模拟的地质模型

地质模型用几百万个网格块描述储层。对于计算机来说，这主要是存储问题。但下一个主要工作是流体流动模拟，它包括了复杂的数字运算，是运算几百万个网格块的巨大任务（详见流体流动模拟）。

当前，流体流动模拟器可处理约50000个网格块。但网格块越多，计算机模拟流体流动的