

文章编号: 1009-3850(2004)03-0102-06

储层建模中几种原型模型的建立

李少华, 张昌民, 林克湘, 尹太举, 张春生

(长江大学 地球科学学院, 湖北 荆州 434023)

摘要: 储层地质知识库的建立是储层建模过程中极为重要的一步, 它为建模提供基本的条件数据及各种统计参数。本文总结了建立地质知识库的主要步骤及基本内容。在资料较少的情况下, 需要借助原型模型来提供一些无法直接获得但对建模十分重要的参数, 如砂体宽厚比、水平方向变差函数等。文中用 3 个实例较详细的介绍了建立原型模型的 3 种主要方法, 分别是利用露头、成熟油田和沉积模拟实验建立原型模型, 并比较了各自的优缺点。

关键词: 原型模型; 地质知识库; 储层建模

中图分类号: P122.2

文献标识码: A

储层地质模型的建立是现代油藏描述的重点和难点^[1], 而储层地质知识库的建立则是储层建模中一项十分重要的基础工作。所谓储层地质知识库, 是通过充分利用已有的各种资料对研究区进行详细研究和统计分析, 建立表征储层各种特征的地质知识, 这些知识可以直接作为输入参数参与储层建模, 或者为某些参数的确定、模拟方法的选择、实现的选取及结果的检验提供数据或地质依据。在井下资料缺乏的地区, 一般很难把握储层性质和参数的地质统计特征, 在这种情况下, 必须通过地质类比分析, 借助原型模型完善储层地质知识库, 为建模提供比较合理的参数^[2,3]。

1 储层地质知识库的建库步骤和基本内容

地质知识库的建立可以概括为油藏地质精细研究、原始数据的提取、地质统计分析、数据入库等几个基本步骤(图 1)。

不同的随机模拟方法对所需的参数有所不同, 总的说来, 可以将储层地质知识库的主要内容概括

如表 1 所示^[4,5]。

2 原型模型的建立

在随机建模过程中需要确定许多模拟参数, 如砂体的宽厚比、变差函数等, 而这些参数在资料较少的情况下不易得到, 例如实验变差函数的求取通常需要至少 30~50 个数据对才能得到比较可靠的结果^[6]。在这种情况下, 通过建立原型模型确定这些模拟参数显得十分重要。

所谓原型模型是指与模拟目标区储层特征相似的露头、开发成熟油田的密井网区或现代沉积环境的精细储层模型^[2,3]。原型模型的选择有两个基本原则: 一是原型模型的沉积特征与模拟目标区沉积特征相似; 二是具有密度采样的条件, 采样点密度必须比模拟目标区的井点密度大得多。对于露头区和现代沉积区, 可以进行三维空间的砂体结构测量, 并可在三维空间进行密集采样和岩石物性(孔隙度、渗透率)测定, 取样网格可密至米级甚至厘米级。因此, 可建立十分精细的三维储层地质模型。在开发成熟油田的密井网区, 尤其是具有成对井的密井网

收稿日期: 2004-03-11

第一作者简介: 李少华, 男, 31 岁, 博士, 研究方向为储层建模与计算机模拟。

资助项目: 湖北省教育厅资助重大项目(2000E0105)。

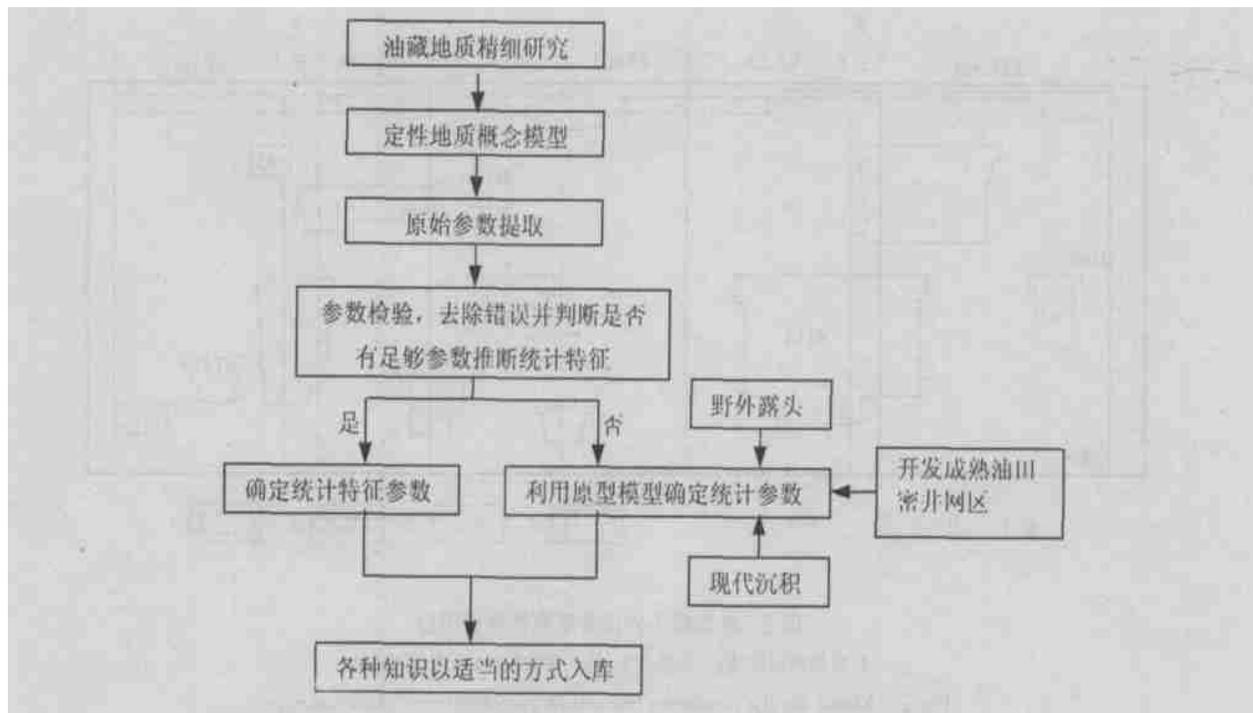


图1 储层地质知识库建立步骤

Fig. 1 Main steps in the establishment of the geological databases for reservoir rocks

表1 储层地质知识库的基本内容

Table 1 Main contents of the geological databases for reservoir rocks

类别	主要内容
油藏	坐标数据(包括井轨迹数据)、构造数据、分层(旋回划分)数据、断层数据、物源方向、相、亚相
储层骨架	微相类型、砂体规模(长、宽、厚)、砂体形态(长宽比、宽厚比、主轴方向、曲率)、砂体数量(全局含量比、分段含量比、纵横向比例曲线)、砂体连通性、砂体连续性、岩性与地震波阻抗/速度概率关系
储层物性	孔隙度/渗透率/饱和度(分布直方图、最大值、最小值、均值、方差、变差函数特征值)及三者关系、孔隙度/渗透率的分形特征值、孔隙度与地震波阻抗/速度概率关系

区,亦可建立原型模型,只不过精确比露头或现代沉积低,但可用于指导相对稀井网区的随机建模研究。

建立原型模型主要有三种途径,即露头、开发成熟油田的密井网区和现代沉积。下面分别用实例进行说明。

2.1 通过露头建立原型模型

利用露头调查建立地质知识库,国内和国外的学者已经作了不少的工作^[7~13]。通过对露头的详细描述、测量、取样分析、钻浅井及地面雷达等多种手段的详细解剖,可以得到关于砂体的几何形态、分布规律及其内部孔隙度、渗透率的分布规律,这样获

得的信息真实可靠,而且精度很高,可以为相似沉积环境地下建模提供十分有用的信息。

这里主要介绍笔者在青海油砂山进行露头调查和储层地质模型研究的主要方法及部分成果。在研究中通过对露头区砂体进行详细的描述和对比建立油田储层的原型模型,它的建立是在地面测量的9个平行的柱状剖面基础上进行的,同时参考了镶嵌照片和砂体实测的数据。

1. 原型剖面模型的恢复方法

先将9个柱状剖面校正到垂直河道总体方向($NE6^\circ$)的横剖面位置上,再将9个剖面上对比出的各分流河道砂体、席状砂体、河口坝砂体的延伸宽度按各点校正的角度校正到 $NE6^\circ$ 横剖面上,各柱状剖面之间的砂体是根据镶嵌照片和实际测量的砂体的实际位置和大小插入到剖面之间。在测量9个柱状剖面时,由于剖面之间有一定间隔距离,在这个间隔内仍有一些砂体遗漏,要通过砂体的测量和镶嵌照片按砂体的实际位置和大小插入到柱状剖面之间。通过上述校正和恢复,得到砂体骨架原型剖面模型(图2)。

2. 原型模型的参数统计

在原型模型中可统计下列参数:(1)砂体面积比;(2)不同厚度砂体的面积百分比(表2);(3)各柱

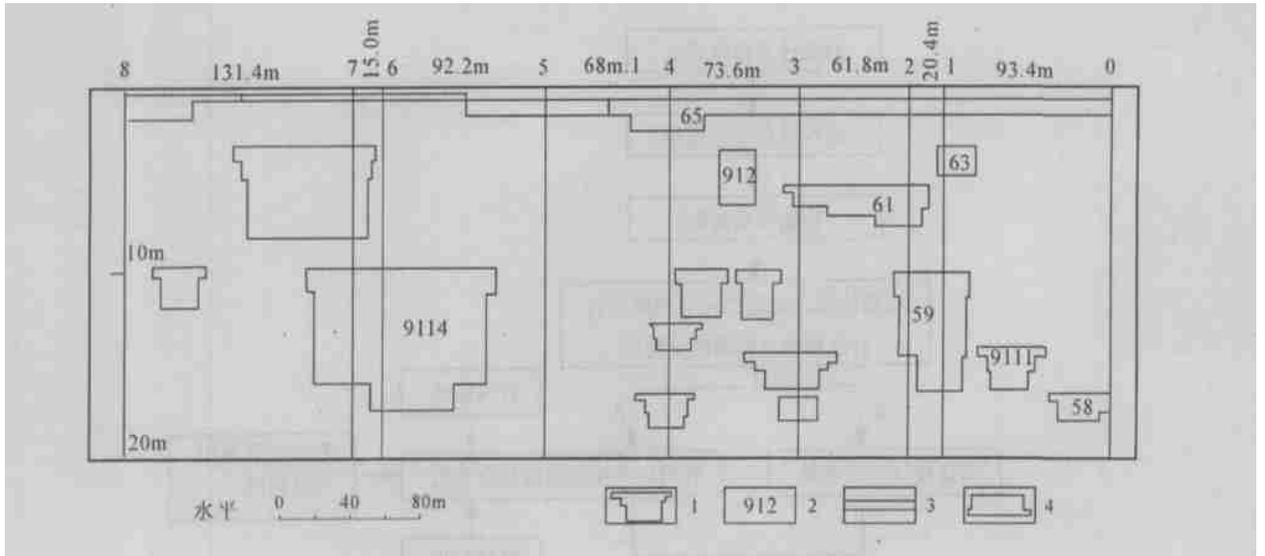


图2 地面露头砂体骨架原型剖面模型

1. 分流河道砂体; 2 砂体测量号; 3. 席状砂体; 4. 河口坝砂体

Fig. 2 Model for the sandstone framework prototype on surface outcrops

1= distributary channel sandstone; 2= sandbody number; 3= sheet sandstone; 4= river mouth bar sandstone

状剖面砂体数的统计平均数, 统计每个柱状剖面 1m 的分流河道砂体、河口坝砂体和席状砂砂体数, 其平均为 5.4 个砂体数; (4) 统计不同厚度砂体占砂体总数的百分比, 即不同厚度砂体出现的概率(表 2); (5) 统计各柱状剖面的 NGR 值, 对原型模型中 9 条垂向柱状剖面的 NGR(垂向上砂岩厚度与地层厚度

之比)进行统计(表 3)。以此可作为随后的地下砂体骨架横剖面预测模型建模中内插砂体的定量依据。

2.2 通过开发成熟油田的密井网区建立原型模型

在研究区周边缺少出露较好可以类比的露头情况下, 在研究区内的密井网区^[14,15], 或是可以类比的开发成熟油田^[19], 也可以建立原型模型, 只不过精确比露头或现代沉积低, 但可用于指导相对稀井网区的随机建模研究。这里主要介绍在双河油田利用密井网建立原型模型的主要方法^[16]。

双河油田处于开发后期, 为了研究剩余油的分布状况, 必需对其储集层砂体进行解剖, 建立精细的地质模型。建模必须有可靠的地质知识库为约束条件。双河油田邻区沉积露头条件太差, 比较好的办法是选择密井网进行解剖, 从中提取建模所需的地质知识并建库, 然后指导储层建模。建库过程可分 4 步: 选择工区、岩电转换、精细对比和统计入库。

表 2 不同厚度砂体面积、面积比和出现概率

Table 2 Area, area percent and occurrence probability of sandbodies of varying thickness

砂体厚度/m	砂体个数	砂体面积/m ²	面积百分比/%	概率/%
1~2	19	784.1	14.6	45.2
2~3	12	1326.4	24.7	28.5
3~4	7	1761.5	32.8	16.7
4~5	2	682.4	12.7	4.8
>5	2	816.3	15.2	4.8
总计	42	5370.7	100	100

表 3 各剖面的 NGR 统计表

Table 3 NGR statistics for individual sections

剖面号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	平均
≥1m 砂岩厚度	8.5	15.6	16.9	13.6	12.2	5.9	17.0	13.2	10.2	
NGR/%	14.4	26.7	27.3	23.7	20.9	10.3	28.2	21.1	16.1	21.0
≥0.5m 砂岩厚度	10.1	20.3	18.7	16.1	16.2	8.7	19.6	16.2	16.5	
NGR/%	17.1	34.7	30.2	28.1	27.5	15.3	32.5	25.9	26.1	26.4

1. 工区选择

为建立井下地质知识库而进行详细砂体解剖的工区应具备以下4项基本条件:(1)沉积背景相同;(2)井距比研究区小;(3)具有一定数量的取心井,以便建立可靠的岩电转换关系;(4)构造简单,易于对比。

本次研究所选工区为双河油田北块南部,层位与研究的目的区块江河区及双河北块的对应层位都属于扇三角洲扇中至扇缘沉积;小井距对比区井距一般在200m以内,研究区为300m左右;工区内有2口取心井;没有大的构造起伏,区内无断层。

2. 岩电转换

岩芯可以提供单井详细的地质信息,但取芯井(段)较少,不能满足建立详细地质知识库的需要。因此必须利用每口井的测井资料,将测井信息转化为地质信息。通过对岩心及测井曲线的研究,摸索出一套岩电转换的方法,将未取芯井段的测井曲线转化为岩性剖面,既方便了对比,又满足了建库的需要。通过对工区及研究区内8口取心井的研究,建立岩电转换的关系,在此基础上,对研究区内53口未取心井进行了岩电转换。

3. 精细对比

井间对比的精度随井距的减小而提高。一定的井距可以解决一定层次的储集层非均质性问题。因此小井距对比(精细对比)非常必要。本研究对井距相对较小的区块进行了详细解剖,并将结果用于井距相对较大的其它区块。

在本此研究中采用旋回对比,以标准层为标志,以扇三角洲沉积机理为指导,并注意到物源的方向,从大到小逐级对比。具体对比中,小层以上的层次沿用油田原有的划分结果,不再重新对比。小层以下的各级砂体重新对比。依据以上原则,共建立了8条对比剖面,其中南北向剖面(垂直物源方向)3条,东西向剖面(垂直湖岸方向)5条。通过精细对比,基本得到了各级结构要素的展布参数。

4. 建立井下知识库

井下知识库包括一维和二维地质参数。一维地质参数包括各级结构要素的频次、密度、厚度分布及上部、下部岩石相(包括总的及单个的)等。密度是指单位地层厚度中某种结构要素的厚度,频次指单位地层厚度中某种结构要素的层数,厚度分布指某种结构要素在各厚度区间的分布情况。二维地质参数,包括两个级次(单砂体及岩石相),有4个参数——宽度(长度)、宽(长)厚比、对称系数、左右接触

关系。这些信息按照适当的格式借助数据库软件保存到数据库中,为储层建模提供依据和参考。

2.3 通过现代沉积建立原型模型

通过对现代沉积的研究,可以建立相应储层的原型模型,获取建模所需的知识。例如,Deutsch通过在空中对现代河流沉积的几何形态进行观察,建立了河流储层基于目标的层次模型^[17]。我国学者也作了不少这方面的工作^[18~20],赖志云、张春生等在对现代沉积详细研究的基础上,进行了河流湖泊沉积模拟实验,取得了许多重要的基础数据,为解决油气储层展布形态、规模和储集性能的问题提供了有力的手段。这里主要介绍利用沉积模拟实验取得的有关砂体形态的部分结果^[20,21]。

1. 沉积模拟实验的基本原理

在实验室内开展沉积模拟实验理论研究是沉积学研究的主要手段之一,也是开展定量沉积学研究的重要途径。模拟实验主要采用两种设计方法,即自然模型法和比尺模型法。自然模型法主要用于地质界特别是沉积学界的实验研究之中,而比尺模型法主要用于水利工程部门。模型试验是建立在相似理论基础之上的,只有模型和原型确实相似时,才能将模型试验的结果引伸到原型内上去。根据相似理论,模型与原型之间必须具备几何相似、运动相似和动力相似这样3个基本条件。

自然模型法作为一个新的方法与原型联系起来进行模型设计,由维里坎诺夫于1950年首先提出,后来又被许多学者如安德烈也夫、亚罗斯拉夫和罗新斯基等发展完善。它的关键问题在于决定模型比尺。一般的讲,自然模型的比尺是以原型的某些特征值(如河宽、水深、流量、含沙量、沙滩迁移速度等)与模型相应的特征值对比后求得。而在设计模型时由于缺乏模型的各项特征值,因此,可以先将模型小河段看作是小的原型,利用现有的水流运动、泥沙运动以及相互关系式进行初步计算,近似求出模型比尺。然后再在模型中实测各项特征值予以修改比尺。选择比尺时,除按公式计算外,还需要满足一定的条件以免模型与原型间在造床方面有着本质的差别。

2. 取得的部分成果

在储层随机建模中,砂体的几何形态是一个十分重要的参数。然而,由于受井距、地震资料分辨率的限制,很难准确地把握砂体的几何形态。沉积模拟实验的应用能够为不同沉积环境下储层砂体的形态提供一种有效的模拟手段。下面介绍实验取得的

表4 水盆内沙体特征参数表

Table 4 Characteristic parameters for the sandbodies in an experimental basin

轮次	最大长度/cm	最大宽度/cm	最大厚度/cm	长宽比	长厚比	宽厚比	砂体底面积/m ²	纵轴剖面表面坡度/‰
1	133.5	108	12.1	1.24	11.03	8.93	1.20	-7.5
2	175.0	146	13.2	1.19	13.26	11.14	2.10	-7.5
3	180.0	177	13.1	1.02	13.74	13.51	2.56	-20.0
4	185.0	191	13.1	0.97	14.12	14.58	2.74	-4.1
5	185.0	216	12.8	0.85	14.45	16.95	2.95	-25.0
6	185.0	237	12.7	0.78	14.57	18.66	3.24	-46.3

含沙河流入湖后沙体形态数据。

实验装置的主体为水槽的水盆,辅助设施为供水供砂系统。水槽长3.5m、宽1.0m、高0.6m,用于模拟河道。水盆长5.0m、宽2.5m、高0.6m,用于模拟湖泊。水盆的底坡分为三段,从水盆入口起,0~1.0m为25‰,1.0~2.0m为20‰,2.0~5.0m为15‰。这种递减的坡度与自然界的实际情况相似。实验中河道的宽度为0.2m,河底坡降为8.47‰。

实验共分为6轮。实验开始前,先在水槽里均匀铺上3cm厚的床沙。6轮放水是独立的,但沙体的发育是连续的。所测得的沙体形态见表4。

2.4 三种方法的比较

原型模型的建立主要可以采用以上三种方法,每种方法相对其它方法而言都有其各自的优缺点。采用露头解剖的方法最直接,如能够直接得到砂体的形态、大小、接触关系、连通情况等许多其它手段无法得到的真实信息,而且信息的精度高、真实可靠,但在存在着以下几个问题:(1)我国出露良好的露头多在西部而开发程度高的油田主要在东部,通过西部地区露头工作,指导东部油田,给储层沉积工作增加了很多困难;(2)露头与油田的沉积条件、沉积环境和地层层位相似程度存在较大的不确定性;(3)解剖露头费用昂贵,要做到三维解剖需要钻井、测井、地面雷达、岩心分析化验等许多工序,解剖一个规模不大的露头可能需要数百万、上千万元。由于经费限制,通常露头解剖只是多个二维剖面,受地形影响特别大,而且得到的信息不全,无法得到储层在三维空间的形态和展布情况。在缺乏露头的地区,通常采用开发成熟油田的密井网区或是可以类比的开发成熟油田建立原型模型。该方法的优点是可以充分利用大量已有的地震、钻井、测井、岩心、试井、生产等资料,建立原型模型的成本低。存在的问题主要是虽然已有的资料已经很丰富,但由于陆相碎屑岩沉积环境下相变快,储层非均质性严重,因此根据密井网解剖建立的原型模型存在一定的不确定

性,模型的精确相对较低。在现代沉积调查的基础上进行沉积模拟实验建立原型模型具有成本低、可多次重复、测量准确等优点,存在的问题主要有:(1)受实验装置规模大小的限制,实验时间较长时砂体的生长过程不能充分自由发展;(2)没有考虑波浪的作用;(3)在储层物性方面的作用不大。

3 结论

储层地质知识库是储层建模过程中一个重要的组成部分,它的好坏直接影响最终的模拟结果。在资料较少的情况下,许多模拟参数无法直接的获得,必须借助于原型模型。原型模型的建立可以为目标区的建模提供比较可靠的地质统计特征参数,主要有三种建立原型模型的方法。这些方法各有所长,在具体应用时必须结合实际情况合理选择。

参考文献:

- [1] 裴亦楠. 储层地质模型[J]. 石油学报, 1991, 12(4): 55-62.
- [2] 张一伟,熊琦华,等. 陆相油藏描述[M]. 北京:石油工业出版社, 1997.
- [3] 吴胜和,金振奎,黄沧钊,等. 储层建模[M]. 北京:石油工业出版社, 1999.
- [4] 汤军,张昌民,林克湘,等. 储层建模地质知识库的参数选取和计算方法研究[A]. 成油体系与成藏动力学论文集[C]. 北京:地震出版社, 1999.
- [5] 陈恭洋. 碎屑岩油气储层随机建模[M]. 北京:地质出版社, 2000.
- [6] 王仁铎,胡光道. 线性地质统计学[M]. 北京:地质出版社, 1988.
- [7] 林克湘,张昌民,等. 地面-地下对比建立储层精细地质模型[M]. 北京:石油工业出版社, 1995.
- [8] 李思田,等. 鄂尔多斯盆地延安组三角洲砂体内部构成及非均质性研究[M]. 北京:石油工业出版社, 1993.
- [9] 贾爱林,陈亮,穆龙新,等. 扇三角洲露头区沉积模拟研究[M]. 石油学报, 2000, 21(6): 107-110.
- [10] RAVENNE et al. Heterogeneity and geometry of sedimentary bodies in a fluvialdeltaic reservoir [J]. SPEFE, 1989, 4(2): 239-246.

- [11] JACKSON S R et al. Application of outcrop data for Characterization reservoir and deriving grid-block scale values for numerical Simulation [A]. Third International Reservoir Characterization Technical Conference [C]. Tulsa, Oklahoma, U. S. A., 1991, 15.
- [12] FLINT S S, BRYANT D. The geological modeling of hydrocarbon reservoirs and outcrop analogs [A]. International Association of Sedimentologists Special Publication, 1993, 15.
- [13] CORBEANU M R, SOEGAARD K, SZERBIAK R B et al. Detailed internal architecture of a fluvial channel sandstone determined from outcrop, cores, and 3-D ground-penetrating radar: Example from the middle Cretaceous Ferron Sandstone, east-central Utah [J]. AAPG Bulletin, 2001, 85(9): 1565—1582.
- [14] 尹太举, 张昌民, 等. 双河油田井下地质知识库的建立 [J]. 石油勘探与开发, 1997, 24(6): 95—98.
- [15] 赵翰卿, 付志国, 吕晓光, 等. 大型河流—三角洲沉积储层精细描述方法 [J]. 石油学报, 2000, 21(4): 109—113.
- [16] 文健, 裴恽楠, 王军. 埕岛油田馆陶组上段储集层随机模型 [J]. 石油勘探与开发, 1998, 25(1): 69—72.
- [17] DEUTSCH C V, LIBING WANG. Hierarchical object-based stochastic modeling of fluvial reservoirs [J]. Mathematical Geology, 1996, 28(7): 857—880.
- [18] 王德发, 等. 内蒙古岱海湖现代沉积及储层特征研究 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [19] 于兴河, 王德发, 郑浚茂. 辫状河三角洲砂体特征及砂体展布模型——内蒙古岱海湖现代三角洲沉积考察 [J]. 石油学报, 1994, 15(1): 26—37.
- [20] 赖志云, 张金亮. 中生代断陷湖盆沉积学研究及沉积模拟实验 [M]. 西安: 西北大学出版社, 1994.
- [21] 张春生, 刘忠保. 现代河湖沉积与模拟实验 [M]. 北京: 地质出版社, 2000.

The construction of prototype models in reservoir modeling

LI Shao-hua, ZHANG Chang-min, LIN Ke-xiang, YIN Tai-ju, ZHANG Chun-sheng
(*Changjiang University, Jingzhou 434023, Hubei, China*)

Abstract: The establishment of the geological databases for reservoir rocks is a key step in reservoir modeling, and may provide basic data and various statistical parameters for reservoir modeling. The present paper deals with main steps and contents for the establishment of the geological databases. In the case of insufficient information and parameters on reservoir rocks, it is necessary to construct prototype models in order to determine some important parameters for the reservoir modeling. These parameters include width (length)/thickness ratios, symmetrical coefficients, horizontal variation functions and so on. Three methods are introduced in detail into the construction of prototype models including: outcrops, close-spaced well areas and simulation experiments of modern fluvial and lacustrine sediments.

Key words: prototype model; geological database; reservoir modeling