DOI:10.13686/j.cnki.dzyzy.2005.01.016

第 14 卷第 1 期　　地 质 与 资 源　　Vol. 14 No. 1
2005 年 3 月　　GEOLOGY AND RESOURCES　　March 2005

文章编号:1671－1947(2005)01－0067－04　　中图分类号:P628.3;P618.13　　文献标识码:A

三维地质建模及数值模拟技术在油藏开发中的应用

朱广社

(长庆油田公司采油三厂 地质研究所,宁夏 银川 750006)

摘　要:通过鄂尔多斯盆地油坊庄油田定 31 井区侏罗纪延长组长 1 油藏三维精细地质模型的建立,对该区油田地质储量、采油量、含水率和压力等进行了数值历史拟合,摸清该区剩余油的分布规律:剩余油主要分布在构造高部位、沉积主河道注水未波及部位、生产井泄油半径之外和生产井未补孔部位. 针对该区剩余油的分布规律制定了新钻调整井和老井侧钻、注采井网完善、采油工艺挖潜 3 种方法进行开发方案调整,并对调整后的开发技术指标进行了数值模拟预测.

关键词:鄂尔多斯;油坊庄油田;长 1 油藏;地质建模;数值模拟;剩余油

低渗透油田开发中后期,由于生产措施多、压裂酸化及时井措施频繁,地下油水关系非常复杂,开发效果往往不理想. 如何充分利用现有的开发经验与手段,分析剩余油的成因与分布特点,挖掘油藏潜力,采取针对性措施,提高油藏开发效果,是油田开发工作者必须面对的一个课题. 目前剩余油研究的主要方法有取芯法、动态法和油藏数值模拟法等.

油坊庄油田定 31 井区长 1 油藏为低渗透岩性油藏. 油层为三角洲平原分流河道沉积,储层平面和层间非均质性严重,油田进入中高含水期,地下油水分布日趋复杂. 数值模拟方法具有其独特优点,可通过大规模计算,形象而直观地再现油水地下分布状况,为油田的开发调整提供依据[1~3].

1　地质概况

油坊庄油田定 31 井区位于鄂尔多斯盆地西北缘陕北斜坡带上,是在定边三角洲沉积背景下发育起来的继承性局部鼻状隆起,北西－南东向长约 5 km,北东－南西宽约 3.0～3.5 km.

油坊庄油田定 31 井区主要油藏为侏罗纪延长组长 1 油藏,现有采油井 70 口,注水井 22 口(后期转注井 15 口). 长 1 油藏平均厚度 9.38 m,有效孔隙度为 17%,含油饱和度 58%,原油密度0.843 g/cm^3,体积系数为 1.108,单储系数为 7.5×10^4 t/(m·km^2),砂体厚度下限为 8 m,含油面积 9.79 km^2,油水界面海拔为 －240～－245 m.

2　长 1 油藏地质模型的建立

建立油藏地质模型是数值模拟历史拟和及动态预测的关键. 油藏模型的建立,就是将实际油藏数值化,对表面上无联系的数据进行比较和解释,能把油藏模拟可靠性提高到一个新的高度[4]. 即用数据把全部影响油藏开发动态的油藏特征描述出来. 主要包括:模拟区的确定、平面网格和模拟层的划分、地质模型的建立、油藏模型初始化以及流体和岩石物性参数的确定.

2.1　模拟的区域范围

本次模拟区域定在油坊庄油田定 31 井区长 1 油藏,模拟区域面积为 4.65 km×7.5 km,油水井总数为 92 口.

2.2　平面网格及模拟层的划分

本次数值模拟平面网格及模拟层的划分遵循以下原则:①网格为笛卡尔坐标系下的等距网格;②尽量适应井的位置,保证两口井之间至少有 3 个空网格;③为适应精细油藏数值模拟的需要,平面上要求网格间距不超过 50 m,纵向上每 3 m 取一个模拟层. 根据以上原则,定 31 井区长 1 油藏平面上划分为93×105 网格系统,网格步长$\Delta x=\Delta y=50$ m. 长 1 油层组又可细分为 C_1^4、C_1^3、C_1^2 和 C_1^1,共 4 个砂层组. 为适应精细模拟的需要和流动单元之间夹层的变化,并考虑到计算机内存和模拟时间的限制,纵向上尽量做到每 3 m 取一个模拟层,由此将 C_1^4、C_1^3、C_1^2 和 C_1^1 4 个砂层组分别划分为 5 个、7 个、7 个和 5 个模拟层,共计 24 层. 并将 24 个模拟层划分为 9 个流动单元,其所对应的模拟层为:1 流动单元对应 1～2 模拟层,2 流动单元对应 3～5 模拟层,3 流动单元对应 6～8 模拟层,4 流动单元对应 9～12 模拟层,5 流动单元对应 13～14 模拟层,6 流动单元对应 15～17 模拟层,7 流动单元对应 18～19 模拟层,8 流动单元对应 20～22 模拟层,9 流动单元对应 23～24 模拟层. 油坊庄油田定 31 井长 1 油藏网格系统为 93×105×24,总网格数为 234 360 个.

2.3　地质模型的建立

网格系统确定以后,就需要给每个网格块赋予特定的地质参数,这个过程就是所谓的地质建模. 建模的一般思路和方法是:根据模拟区域内各井的地质、测井资料,结合沉积信息,以地质统计学理论为基础,建立各地质参数的空间分布模型,利用 Kriging 技术预测出每个网格块的地质参数值. 三维定量的地质模型应包括构造模型、砂体骨架模型、物性模型和油气分布模型. 本次地质建模采用的是 GOCAD 随机建模软件.

(1) 构造模型:三维构造模型是地质体的离散化,用于定量

收稿日期:2004－11－15. 张哲编辑.

表征构造和分层的特征，一般利用各网格块的顶深和地层厚度数据体来体现．构造模型表征顶面构造几何形态的高低起伏及各网格块间的空间相对关系．

(2)砂体骨架模型：是以数据体的形式来表征地质体中的储层结构，即砂体的几何形态、连续程度和配置关系．砂体骨架模型主要由砂层厚度和净砂岩厚度两类数据体组成．砂层厚度一般情况下就是模拟层厚度；而净砂岩厚度则表征各网络块渗透层的大小，本模型中采用净毛比（净砂岩厚度与砂层厚度之比）来表征净砂岩厚度大小．

(3)物性模型：三维非均质物性模型是以参数体的形式反映储层内孔隙度、渗透率等物性参数场的空间分布特征．孔隙度和渗透率表征了油藏的储集能力和渗流能力，因此，物性模型是地质模型中的重点．

(4)油气分布模型：是以数据体的形式定量表征地质体中油气水的空间分布，具体来说就是要给出每个网格的含油、气、水饱和度．一般情况下油气水分布模型可由油气、油水界面来确定．

2.4 油藏模型初始化

油藏模型初始化是指给模拟区域各网络块赋上地层压力、饱和压力、温度和饱和度初值．模拟系统利用其重力－毛管压力平衡条件的功能，根据用户输入的平衡参数表（参考压力、参考深度、油水界面深度）及饱和度参数表，自动将油藏初始化．

2.5 流体参数

模拟计算所用的流体和岩石物性参数均为室内试验分析资料．

3 动态历史拟合及结果分析

3.1 动态历史拟合

历史拟合是开发动态指标的前提和依据，通过模型历史拟合可实现对油井的生产动态数据（油产量、水产量、井底流压）模拟计算的一致性，对储层物性参数做进一步评价与确定，提高开发调整方案模拟预测结果与实际的动态符和度[5,6]．本次拟合采用70口采油井的生产动态资料进行动态拟合，拟合时间从1985年6月到2004年6月．采用的工作制度是定油量和最小井底流压，拟合指标包括储量、采油量、含水率和压力．通过调整相对渗透率、有效渗透率、流体性质、油水界面等参数的动态历史拟合．对该油藏的地质特征和开发动态有了进一步的认识[7,8]．

(1)储量拟合 首先对模拟区域内的储量进行拟合，在拟合储量时，模拟参数主要有油层厚度、孔隙度和含油饱和度．模型中的饱和度是根据相渗曲线和平衡数据表自动计算的，不做重点调整．拟合过程中，对地层有效厚度和孔隙度作适当调整．长1油藏标定地质储量为471×10^4 t，模拟计算储量为474×10^4 t，绝对误差3×10^4 t，相对误差为0.6%，拟合效果较好．

(2)采油量拟合 长1油藏压裂酸化措施较多，地层测试资料多．根据模拟要求，在采油量拟合中，充分考虑到压裂酸化措施及尽可能利用地层测试资料．Eclipse数值模拟软件的Schedule模块具有强大的生产动态数据前处理功能，能充分考虑到油田开发生产中的各种措施，包括压裂、酸化、补孔、封堵、关井、开井等．考虑到压裂酸化措施的因素后，实施措施前后的采油量才能得到较好的拟合，又因为本次历史拟合采取的是定油量工作制度，所以采油量拟合效果很好（图1）．

(3)含水率拟合 采油量拟合成功后，就需要对含水率进行拟合，含水率进行拟合首先是拟合整个油田的含水率，拟合过程中主要修改相对渗透率曲线和局部有效渗透率场，可以看出模拟计算的长1油藏总体含水率走势与实际走势基本一致（图2）．总体含水率拟合完成后，就需要对单井含水率进行拟合，主要是通过修改局部相对渗透率和有效渗透率场，个别井也可适当调

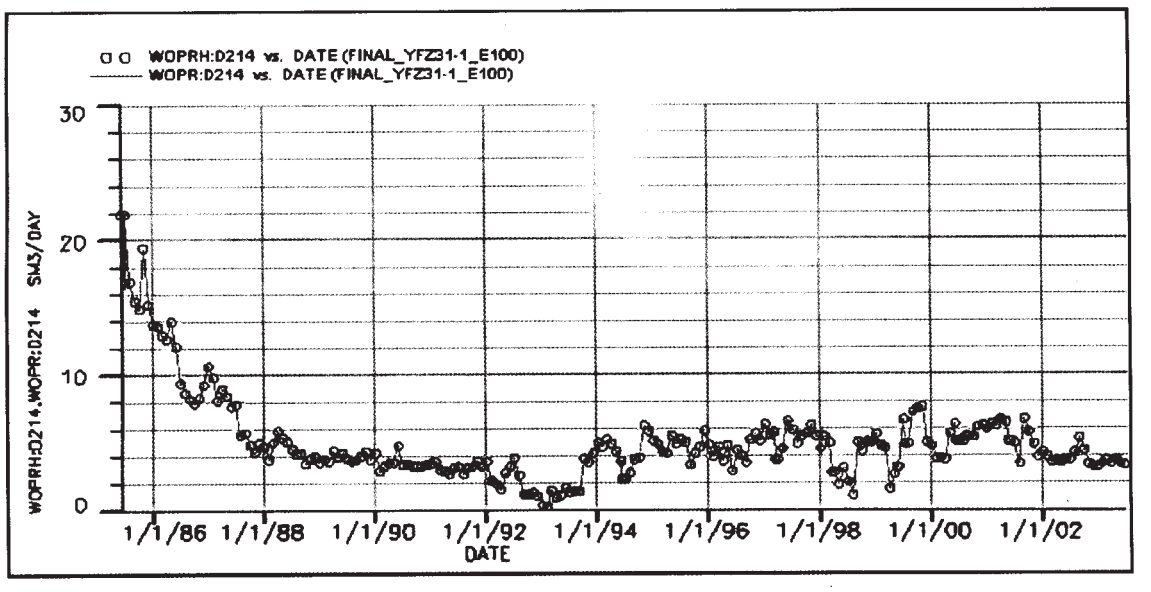

图1 定31井采油量历史拟合曲线图

Fig. 1 Historical fitting curve for the production of D-31 well

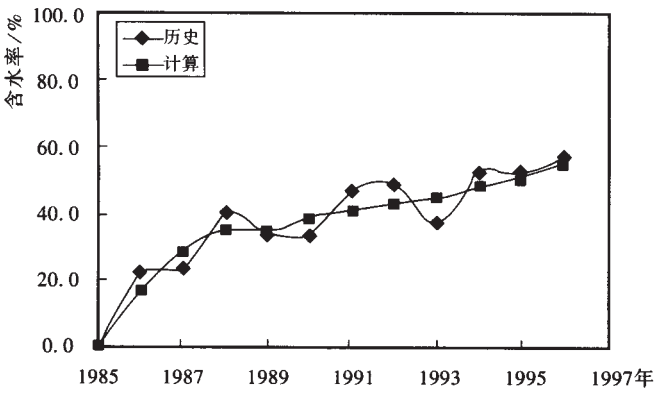

图 2　定 121 井含水历史拟合曲线图

Fig. 2　Historical fitting curve for water content of D-121 well

整其油水界面，经反复调整，70 口采油井含水率与实际含水率走势基本一致，含水率拟合效果较好.

(4)压力拟合　压力拟合是在地质储量拟合的基础上，主要通过调整地层渗透率及压缩系数来进行拟合，也可以通过调整水体的大小实现. 模拟计算单井地层压力与实际地层压力走势能够基本保持一致，拟合效果较好(图 3).

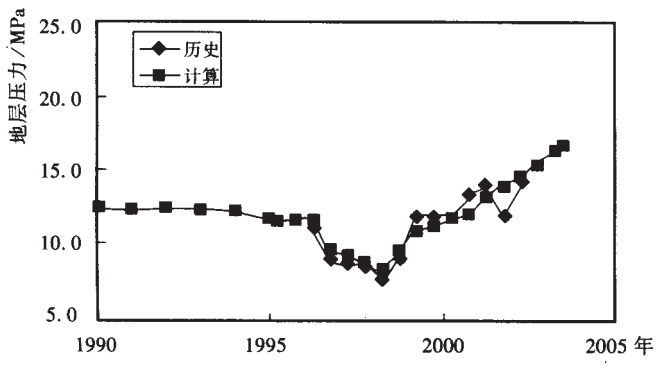

图 3　定 31－9 井地层压力历史拟合曲线

Fig. 3　Historical fitting curve for formation pressure of D-31-9 well

3.2　剩余油饱和度分布规律

历史拟合完成后，对定 31 井区长 1 油藏进行剩余油饱和度计算，计算结果表明剩余油饱和度主要分布在构造高部位、沉积主河道注水未波及的部位、生产井之间泄油半径之外和生产井未补孔层位. 各小层动用状况不均衡，总体来看，第二砂层组动用程度最高，模拟小层地质采出程度在 4.58% ~ 32.29% 之间，砂层组采出程度为 16.87%，其次为第三砂层组和第一砂层组，模拟小层地质采出程度分别为 6% ~ 15.79% 和 0.11% ~ 9.61%，砂层组采出程度分别为 13.44% 和 4.77%，第四砂层组未动用.

4　开发调整方案及指标预测

4.1　开发方案的调整方法

(1)新钻调整井和老井侧钻. 针对定 31 井区剩余油分布特点，对于油藏边部以及井网密度不够的剩余油富集区，采用新钻调整井或由低产采油井转注水井;对油藏内部，处于微构造高部位，水驱不到的剩余油富集区，采用报废井或低产井进行老井侧钻.

(2)注采井网完善. 根据剩余油含油饱和度分布图分析，有注水井无采油井的井点，或者有采油井无注水井的井点采取相应层位补孔，或者采油井转注，注水井转采，完善注采井网.

(3) 采油工艺挖潜. 用采油工程方法进行剩余油的挖潜是目前比较常用的经济的方法，根据水井吸水剖面，对注水井单向锥进的层位，利用采油工程方法采取调剂措施，根据油井产液剖面分析，对于采油井出水的主力层段，采取堵水措施，使注入水沿着与油井对应的层位注入，降低含水率，提高注水效果.

4.2　调整方案指标预测

根据调整方案指标对定 31 井区进行开发指标预测，结果表明与未调整方案(目前采油速度、注采比为 1.0 测算)相比，评价期末采出程度提高 2.46%，累计产油量增加 11.6×10^4 t，综合含水率升高变慢，含水性质变好，方案实施初期采油速度由 1.67% 提高到 1.89%，注采比由 0.98 提高到 1.08，由此认为该方案较佳.

5　结论

对长 1 油藏数值模拟研究表明，拟合地质储量、采油量、含水率及地层压力与实际情况基本一致，模拟效果较好.

剩余油主要分布在构造高部位，沉积主河道注水未波及的部位、无井控制区域、生产井之间泄油半径之外和生产井未补孔层位.

针对剩余油分布特征，采用新钻调整井和老井侧钻、注采井网完善、采油工艺挖潜 3 种方法进行开发方案调整. 对调整后的开发指标进行预测，结果表明数值模拟及开发调整是有效的.

参考文献:

[1] 张树宝，姚文明，董志清. 关于剩余油饱和度分析的研究方法[J]. 断块油气田，2002,7(3):19—22.

[2] 乐友喜，王才经. 利用分形条件模拟和流线模型预测剩余油气饱和度分布[J]. 天然气地球科学，2004,15(1):42—46.

[3]陈之恩. 油气勘探决策第三模拟[J]. 天然气地球科学，1991,2(2):78—82.

[4]Yu ding,Luceweill. 油藏数值模拟时的井模型[A]. 见:陈路原，编. 国外油田开发技术文集[C]. 北京:石油工业出版社，2001. 107—116.

[5]黄伏生，赵永胜. 高含水期砂岩油田细分注水最佳分级模拟研究[J]. 断块油气田，1999,6(2):42—45.

[6]刘斌. 贝东异常地层压力数学模型的建立[J]. 天然气地球科学，1999,6(1):34—42

[7]李福垲. 黑油和组分模型的应用[M]. 北京:科学出版社，1996. 77—78.

[8]吴湘. 油藏模拟应用技术[J]. 石油勘探与开发，1991,(1):70—78.

APPLICATION OF GEOLOGICAL 3-D MODELING AND DIGITAL SIMULATION IN OIL DEPOSIT EXPLORATION IN YOUFANGZHUANG OIL FIELD

ZHU Guang-she

(*Institute of Geology, Changqing Oil Field Corp., Yinchuan* 750006, *China*)

Abstract: Through geologic 3-D modeling for the C-1 reservoir in D-31 well area of Youfangzhuang oil field in Ordos Basin, the distribution of residual oil in the area is studied by numerical fitting on geologic reserves, oil production, water cut and pressure. The residual oil is essentially distributed on structural high, un-flooded main channel of deposit, outside of drainable area of well and production well without perforation. To various distribution patterns of residual oil, three methods are developed for production adjustment, including new adjusting well and sidetracking of old wells, perfection of injection production pattern, and productin engineering potential development. The estimation for production index indicates that the numerical modeling and production adjustment are effective.

Key words: Ordos; Youfangzhuang Oil Field; D-31 well area; C-1 reservoir; digital simulation; residual oil

作者简介 :朱广社(1973—),**男,工程师,**1997 **年毕业于西南石油学院石油地质勘查专业,从事石油勘探开发工作,通讯地址 宁夏银川市长庆石油基地采油三厂地质研究所,邮政编码** 750006.

(**上接第** 42 **页**)

GEOLOGICAL CHARACTERISTICS AND GENESIS OF HUANGGOUSHAN LEAD-ZINC DEPOSIT IN JILIN PROVINCE

FENG Shou-zhong, SUN Chao, HUANG Lin-ri

(*Jilin Institute of Nonferrous Metallic Geology, Changchun* 130012, *China*)

Abstract: The Huanggoushan Pb-Zn deposit, occurring in the dolomite marble of Mesoproterozoic Zhenzhumen formation, is obviously controlled by strata. Study on the geology, the Zn/Pb ratio of ore-forming elements, the microelements in galena and sphalerite, the S and Pb isotopic compositions, the inclusions of minerals and the source bed shows that it is a stratabound deposit of sedimentation-reformation type. Sedimentation is the basis for the source of ore-forming material; while reformation is the essential factor for the forming of the deposit. The Zhenzhumen formation is the source bed for ore-forming material.

Key words: Huanggoushan; Pb-Zn deposit; geological characteristics; genesis; source bed; sedimentation-reformation type

作者简介 :冯守忠(1934—),**男,高级工程师,**1954 **年毕业于长春地质学院地质系,现从事矿床地质研究工作,通迅地址 长春市南湖大路** 32 **号,邮政编码** 130012.