

文章编号: 1001-6112(2007)05-0527-04

油气成藏动力学模拟评价系统的研制

何大伟^{1,2}, 毛小平³, 杨甲明⁴, 吴景富⁴, 潘明太⁴

(1. 中国石油勘探开发研究院, 北京 100083; 2. 中海石油有限公司, 北京 100010;

3. 中国地质大学, 北京 100083; 4. 中海石油研究中心, 北京 100027)

摘要:在油气成藏动力学模拟评价系统的基础上,进一步考虑各种地质因素,包括快速底层数据建模、模拟数据的透明化、油气初次运移模型、多因数控制的油气运聚模拟、油气最优运移路径的法线追踪等,建立了地质模型,并将地质模型转化成数学模型和计算机模型,提升了该系统的模拟能力,使该系统成为地质学家的一个油气系统三维可视化分析工具。利用该系统对东海盆地丽水凹陷开展了实际应用,得出丽水凹陷总生烃量为 158×10^8 t,其中生油 78×10^8 t,生气 79×10^{11} m³,从而对该凹陷的油气勘探起到了指导作用。

关键词:三维建模; 油气成藏动力学; 模拟评价系统; 丽水凹陷; 东海盆地

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

DEVELOPMENT OF PETROLEUM POOL-FORMING DYNAMICS SIMULATION AND EVALUATION SYSTEM

He Dawei^{1,2}, Mao Xiaoping³, Yang Jiaming⁴, Wu Jingfu⁴, Pan Mingtai⁴

(1. *Research Institute of Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China*; 2. *China National Offshore Oil Corporation Limited, Beijing 100010, China*; 3. *China University of Geosciences, Beijing, 100083, China*;

4. *Research Center of China National Offshore Oil Corporation, Beijing 100027, China*)

Abstract: Based on the petroleum pool-forming dynamics simulation and evaluation, the more geologic factors have been considered, such as quick basal geologic data modeling, querying and editing for the simulation, the primary migration model, the multi-factor oil and gas accumulation simulation and ray-tracking oil and gas migration method and so on. The geologic models have been made, and transferred farther into mathematic and computer models. Therefore, the system can be acted as 3D visual analytic tool for oil and gas migration and accumulation. The system has been made application for the Lishui Sag, the East China Sea Basin, this simulation result has been approbated for integrated research team of the Lishui Sag, the East China Sea Basin.

Key words: 3D modeling; petroleum pool-forming dynamics; simulation and evaluation system; the Lishui Sag; the East China Sea Basin

对油气成藏过程进行定量化模拟,并用它作为油气资源评价和地质分析的工具,一直是地质家追求的目标。目前一些软件已实现了生排烃定量模拟,可以称之为盆地模拟系统,但由于运移聚集的复杂性及从一、二维模拟上升到三维空间的难度,使它们不能真正由盆地模拟系统上升到成藏模拟系统的层次,只能用于成因法资源定量评价^[1],且采用排烃系数和聚集系数来半定量的获得评价区的资源量。一些国外软件,如 IES, BasinMod 单从

油气运移、聚集角度实现了运移聚集模拟,但未很好地结合构造演化与热演化史,往往是给定现今或某一构造顶界形态,注入一定量的油气,在简单的输导层条件下,较直观地模拟出油气运移轨迹。

本系统从构造、沉积到热、应力场、生烃、排烃及运移聚集,均在三维空间中实现一体化模拟,是一套真正的三维油气成藏动力学模拟评价系统。它是在某一特定的地质单元内(盆地、区带),在相应的烃源体和流体输导体系格架下,通过对温度、

收稿日期: 2006-04-11; 修订日期: 2007-08-13。

作者简介: 何大伟(1964—),男(汉族),博士生,主要从事石油地质科研工作。

基金项目: 国家自然科学基金项目(49732005)。

压力等物理场的综合定量模拟,在古构造发育的背景上历史地再现油气生、排、运、聚直至成藏全过程的模拟系统。本文在PPDSS 1.0的基础上,就应用中发现的问题进行了完善,形成了新版本 PPDSS 2.0,并在东海盆地丽水凹陷得到了应用。

1 油气成藏动力学模拟评价系统

油气成藏动力学模拟评价系统的设计以系统工程理论为指导^[2],以含油气系统为主线,以烃源岩体、输导体、聚集体格架建立为基础,以流体动力学和运动学模型的建立为核心,以系统动力学为总控,把动力学模拟和智能模拟相结合,在构造体、输导体、聚集体发育的历史格架下,利用现代数学和计算机技术在空间上再现地质单元体内油气生、排、运、聚、散的演化过程^[3,4]。关键技术是三维岩体建模、三维构造模拟、三维油气运聚散模拟、油气生排运聚散的系统动力学模拟、模型的套合、空间数据生成处理及三维可视化。在油气成藏动力学模拟评价系统研制和应用中发现,下列技术:即快速底层数据建模(如构造层面、断层、沉积相等的建模)、模拟数据的查询与编辑、多因素控制的油气运聚模拟、油气运移路径的法线追踪等将制约该系统的使用效果和效率。

1.1 快速底层数据建模

三维构造、沉积模型的建立是难点也是模拟成功的关键。该系统已经实现两种底层数据建模方式:1)用地震地质解释剖面生成该系统的构造—沉积底层数据,建模方式为构造层面、断层、沉积相同时建模;2)用构造平面图和沉积相平面图生成构造—沉积底层数据,建模方式为构造层面、断层、沉积相同时建模。

为了适应快速研究的需要,研制了快速底层数据建模方式。

快速底层数据建模方式为构造层面、断层、沉积相分别建模,然后加载在一起,达到组建底层数据的目的。快速底层数据建模数据源为网格化数据,构造层面、断层、沉积相数据在相同网格条件下,就可直接加载到模拟系统中,生成模拟的底层数据,无需像上述两种建模方式那样做复杂的、耗时的工作。一个工区的底层数据,可很快完成,大大提高了工作效率。

1.2 模拟数据的透明化

实现模拟数据查询和编辑功能,可对加载数据和模拟过程数据进行查询和编辑,可以检验加载数据的正确性和合理性,可对模拟过程参数进行监

控,有利于提高模拟结果的精度和模拟过程的透明度,可以避免模拟过程的黑箱运行。同时,有了数据查询功能,可以帮助分析模拟结果。

系统可对构造层面、断层、沉积相代码、砂岩百分比等进行查询与编辑。图 1 为沉积相加载结果,图形区与数据区可以互动。

1.3 油气初次运移模型

油气从烃源岩到输导层的初次运移量的模型比较关键。在本次研究中并未按常规的排烃计算方法,而是考虑了烃源层与围岩的接触关系。烃源岩层上、下和侧面所接触的不同性质的地质体,有可能是烃源层,也有可能是输导层,这样不同的接触关系其排出烃的数量是不一样的。针对复杂的实际情况,其具体的模拟思路是通过对各层的相图进行比较,确定同一层位中的烃源层的范围,合并相邻烃源岩体区域,计算烃源岩体区域与输导层顶底的接触面积。

此处区分顶底面与侧面的目的是:顶底面接触与侧面接触,油气从烃源岩层向输导层排放的比例是不一样的,侧面接触为指状接触,其排放量一般为顶底面接触时的 3~7 倍。

烃源岩体的顶底面与输导层接触将会使油气排向上覆与下伏输导层,并在这些层位中产生侧向或垂向运移。烃源岩体的侧面接触输导层,排出烃后在同一层内进行油气的侧向运移。图 2 为烃源岩体与围岩的接触关系示意图,为一种较为简单的情况。

1.4 多因素控制的油气运聚模拟

油气运移、聚集与散失是一个复杂的过程^[5,6],要能较准确地仿真模拟该过程,需要更多地吸收当前公认的油气运聚的机理,并将之定量化。油气运移的主要输导体系有砂岩体、断层和不整合面等多个因素^[7,8],该系统成功实现砂岩体、断层和不整合控制的油气运聚模拟。断层的开启和封闭作用的实现对油气运聚模拟精度的提高有了很大作用。图 3 为断层油气分配示意图。油气进入断裂,如果断裂为开启,那么就有两个分量, R_a 和 R_b , R_a 为顺层油气分量, R_b 为沿断裂带的油气分量。如果断层为封闭,那么 R_a 和 R_b 两分量为零。断层的开启或封闭,以及 R_a 和 R_b 两分量的大小要通过地质研究成果来确定。一般认为,张性地区的断层具有较好的连通性,而压性地区的断层具有很好的封堵性;构造活动期断层连通性好,相对静止期则封堵性好些。

1.5 油气运移路径的法线追踪

通过构造、沉积及生排烃模拟,得到了各个时

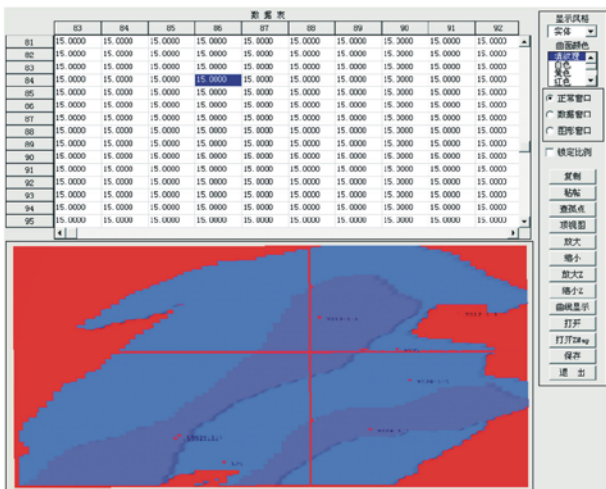


图 1 沉积相加载结果
不同颜色代表不同的相带。

Fig. 1 The data load of sedimentary facies

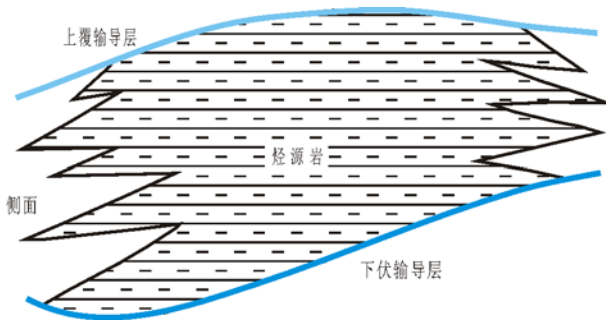


图 2 烃源岩体与围岩的接触关系示意

Fig. 2 The sketch of contacting relation between hydrocarbon rock and surrounding rock

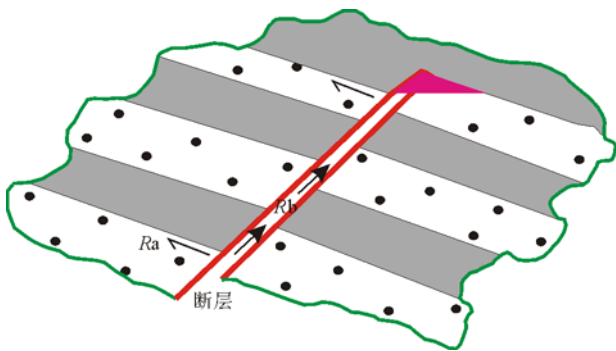


图 3 断层油气分配示意

Fig. 3 The sketch of fault oil and gas distribution

期的古构造形态及古温度场、应力场和生排烃史。基于这些资料,可以实现油气运移聚集的定量化模拟。模拟不同时期烃源层生烃及排出的油气运移到各古构造圈闭的过程。这个过程除考虑流体势外,还需要考虑渗透率、孔隙度、断层的封堵与开启等输导体的非均质性。油气在输导层中侧向运移

采用的优势运移路径是构造等值线的法线方向。通过最优势运移路线模型的实现,提高了油气运移聚集模拟的精度。油气在输导层内的侧向运移原则是按最小阻力路径运移,即沿流体势法线方向运移,如果没有异常压力或其它因素,输导层顶面起伏等值图(即输导层顶界构造图)各点法线常常可以近似作为油气运移的方向。输导层顶面局部某点如果不是圈闭,则按流体势,如果是背斜圈闭或断层圈闭,则以顶界形态为准逐步充填油气^[3,4]。

因此本系统的模拟结果并非是通过生排烃量乘上聚集系数来模拟资源量,而是根据实现不同时刻不同烃源层排出的烃量且聚集到圈闭上的量,体现出油气从源到圈闭的油气运移聚集过程。模拟结果体现出各时期圈闭资源量的聚集和散失状况,其准确与否,与所建的三维构造模型的精度及前期所有模拟的精度有关。

2 应用实例

2.1 区域地质概况

丽水凹陷位于东海盆地台北坳陷西南部,呈北东向分布。丽水凹陷为一典型的东断西超箕状凹陷,并且是由两个次一级的箕状凹陷组成,中间为一基岩隆起的继承性构造带——灵峰构造带;丽水凹陷是台北坳陷沉积最厚区,沉积岩厚度以西次凹为最大,厚度 9 650 m,仅古新统最大厚度就超过 7 000 m。已钻探 9 口探井,有 6 口有油气显示,1 口井获得油气流。

丽水凹陷是台北坳陷西部凹陷带中最富的生油气凹陷,月桂峰组有机质丰度最好,为中等—好生油岩,明月峰组为中等生油岩,灵峰组为较差—中等生油岩,瓯江组为较差生油岩,温州组为差—较差生油岩。

2.2 石油地质条件

烃源岩条件:古新统明月峰组、灵峰组和月桂峰组有机质丰度较高,是生油的有利层段。

储层特征:1)早古新世月桂峰组沉积时期为裂谷发育时期,丽水凹陷发育湖泊沉积体系,沉积了相应的砂体;月桂峰组砂岩具低孔、低渗透特征。2)灵峰组沉积时期为第一次最大海侵期;灵峰组主要为较纯的海相泥岩,砂岩不发育,储层物性较差,主要为特低孔、特低渗透层;埋深较浅的灵峰组上段砂岩物性相对较好。3)明月峰组为一套海退序列地层,主要为三角洲—河流(沼泽)—滨海相沉积,砂岩较发育,但泥质含量较高,具中孔、中渗特征。4)始新统瓯江组沉积时期为坳陷阶段,此时断

层活动相对较弱,断层对沉积的控制作用不明显,地层分布在整个坳陷,以三角洲—滨浅海相沉积为主;砂体较发育,砂岩物性具高孔、高渗特征,也发育特高孔、特高渗的储层。

盖层特征:1)始新统温州组可作为丽水凹陷的第一套区域性盖层。目前油气显示都位于此套区域性盖层下。2)灵峰组沉积时期是第三纪的第一次最大海侵期,泥岩发育,分布范围广,灵峰组泥岩是丽水凹陷最重要的区域性盖层。3)丽水凹陷古近系主要岩性特点是砂泥岩互层,其中的泥岩可作为油气的盖层,只是这些泥岩盖层分布范围不均;分布范围较大者仍可作为油气封盖的局部盖层,它对局部构造和地区的油气聚集和保存起控制作用。

圈闭特征:丽水凹陷古近纪断裂活动频繁,基底升降活动活跃,局部构造发育,且圈闭类型多。依据圈闭类型的产状特征,这些构造圈闭及油气藏类型大致可归结为背斜型和断块型两大基本类型。它们的形成与断裂发育有关,都直接地或间接地受控于盆地构造演化过程中的断裂构造作用,具有一定的分布规律。

2.3 应用结果

本模拟工区以温州组为区域盖层,瓯江组、明月峰组上、下段、灵峰组上、下段和月桂峰组为储层,明月峰组上、下段、灵峰组上、下段和月桂峰组为烃源层。

运用油气成藏动力学模拟评价系统进行了模拟,模拟结果:1)丽水凹陷总生烃量为 158×10^8 t,其中生油 78×10^8 t,生气 79×10^{11} m³。2)浅层储层聚油比率高,圈闭类型多;深层储层聚气比率高,圈闭类型少。从油气运移迹线可看出西次凹西斜坡的油气运移很活跃,有利于寻找地层岩性圈闭。3)瓯江组储层油气运移聚集结果如图4所示,东西次凹油气向灵峰潜山披覆带运移聚集,形成油气藏。

3 结论

通过本系统从构造到运聚的三维模拟,得到的油气流线定性反映了油气运移聚集规律,基于此油气流线跟踪可以作定量区带甚至圈闭评价,使构造、生排烃与运聚在三维平台下进行有机统一的模拟,从而得到各区带的油气通过量和油气在圈闭的

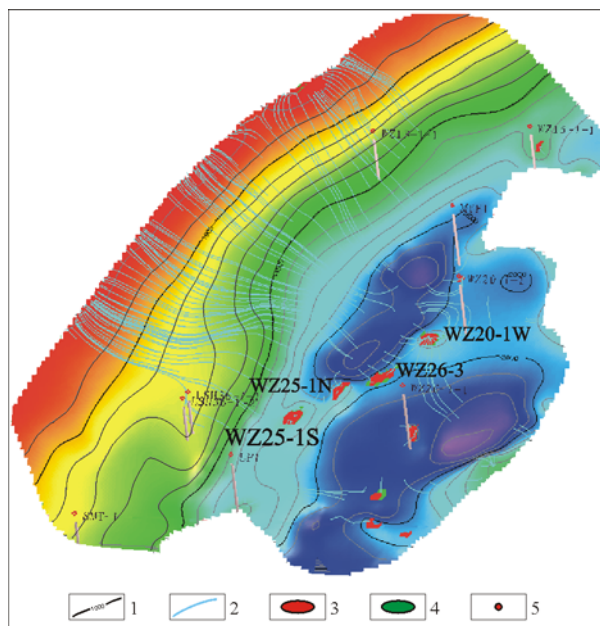


图4 东海盆地丽水凹陷瓯江组油气运移聚集
1. 构造等值线/m; 2. 油气运移迹线; 3. 气聚集; 4. 油聚集; 5. 井位
Fig. 4 The oil and gas migration and accumulation of Oujiang Fm in the Lishui Sag of the East China Sea

聚集量。根据流线模拟结果,可以定性模拟和确定油气运移的通道。模拟结果是符合地质概念的,且与其它定性的统计法模拟结果相近,可为油气勘探提供支持。

参考文献:

- 1 周总瑛. 成因法与统计法油气资源评价对比分析[J]. 石油实验地质, 2005, 27(1): 67~73
- 2 李日容. 油气成藏动力学模拟现状与展望[J]. 石油实验地质, 2006, 28(1): 78~82
- 3 吴冲龙, 王燮培, 毛小平等. 油气系统动力学的概念模型与方法原理: 盆地模拟和油气成藏动力学模拟的新思路、新方法[J]. 石油实验地质, 1998, 20(4): 319~327
- 4 吴冲龙, 刘海滨, 毛小平等. 油气运移和聚集的人工神经网络模拟[J]. 石油实验地质, 2001, 23(2): 203~212
- 5 张厚福. 石油地质学[M]. 北京: 石油工业出版社, 1999. 1~345
- 6 李明诚. 石油与天然气运移[M]. 第3版. 北京: 石油工业出版社, 1999. 1~350
- 7 石广仁. 油气盆地数值模拟方法[M]. 第2版. 北京: 石油工业出版社, 1999. 1~215
- 8 郭秋麟, 米石云, 石广仁等. 盆地模拟原理方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998. 1~182