

文章编号: 1009-3850(2010)02-0055-06

盆地模拟技术与 BasinMod 软件应用

苑 坤, 陈彬滔, 于兴河, 李胜利

(中国地质大学, 北京 100083)

摘要: 盆地模拟是含油气盆地勘探评价的重要技术方法之一。BasinMod 盆地模拟软件是用 C++ Builder 6.0 开发研制的微机版盆地模拟软件。应用 BasinMod 软件能够进行埋藏史、热史、生排烃史、油气运聚史的模拟和油气资源量估算。埋藏史模拟现已开通压实回剥法, 热史模拟已开通地温梯度法, 生排烃史模拟已开通烃产率法和化学动力学法, 油气运聚史模拟已开通运移层吸附油气散失模型法, 资源量估算已开通排聚系数法。BasinMod 盆地模拟软件具有 Windows 图形用户界面, 用户可以通过对话框进行软件操作, 操作简单灵活, 使用方便。

关键词: 地质模型; 模拟系统; 盆地模拟; 资源评价

中图分类号: TE121.1⁺5

文献标识码: A

1 盆地模拟系统的发展

盆地模拟技术研究已有近 30 年的历史。盆地模拟技术的发展是石油地质定量研究发展的必然结果。早在 1940 年, 美国学者 M. K. Hubbert 就提出了流体势的概念, 并运用该概念较全面地描述了地下流体的运动状态。1954 年, 前苏联学者乌斯宾斯基提出了煤产气量的物质平衡计算方法。1969 年法国学者 Tissot 等根据化学动力学定律提出了计算生烃量的计算模型; 1978 年, Tissot 和德国学者 Welt 联合提出了有机质转化为烃类的热化学动力学模型及其计算方法。以上理论方法的提出为后来的盆地模拟技术及软件的开发奠定了基础^[1]。

盆地模拟技术及软件的发展大致可以分为试验性应用、实际应用阶段和集成与三维可视化三个阶段(表 1)。

试验性应用阶段主要发生在 20 世纪 80 年代。1978 年, 世界上第一个一维盆地模拟软件系统的提出, 1981 年建立了一套较为完整的二维盆地模拟系统。从 1984 年利用镜质组反射率确定古热流方法

的提出到 1987 年油气二次运移聚集模型的建立, 国内各大石油研究机构在吸收和借鉴国外技术和软件的基础上也开发出各种实验性软件, 代表性的 SLB-SS BAS、HYBSS。这个阶段中, 各种模拟技术和软件都处于摸索阶段, 其实际应用也受到了一定的限制, 但其为盆地模拟系统的发展和不断完善奠定了坚实的理论基础。

自 20 世纪 90 年代开始, 盆地模拟技术及软件的开发进入了实际应用阶段, 这也是盆地模拟技术发展的黄金时期, 软件系统从开发走向生产应用。在这个阶段, 国内外各种高水平商品化的软件对科研和生产起到了极大的推进作用^[2]。

进入 21 世纪后, 盆地模拟技术和软件向集成化和三维模拟方向发展。其中具有代表性的是美国 PRA 公司在 2009 年推出的 BasinMod2009。该软件集成了 PRA 的所有盆地模拟技术和软件模块, 可以轻松的实现各种盆地模拟的平面、剖面 and 三维可视化操作, 是盆地模拟技术和软件真正走向集成化和三维的标志。

表 1 盆地模拟技术及软件开发的历史沿革
Table 1 Historical outline of basin modeling techniques and software development

研究内容	国外			国内		
	时间	石油公司或研究机构	创新及意义	时间	石油公司或研究机构	创新及意义
试验性阶段	1978年	西德 Jurich公司石油与有机地球化学研究所	建立了世界上第一个盆地模拟系统	1980年	胜利油田	形成了我国第一套盆地模拟软件系统 (SLBSS)
	1981年	日本 Japex石油勘探有限公司	建立了简化的二维盆地模拟系统	1989年	北京石油勘探开发科学研究院	推出了具有自主知识产权的一维盆地模拟系统 (BASI)
	1984年	法国 IFP石油研究院	建立了较完整的二维盆地模拟系统			
			美国 South Carolina 大学地球科学系		提出了用镜质体反射率确定古热流的方法, 打破了以往单纯使用地球热力学法的传统	中国海洋石油勘探开发研究中心
	1987年	英国 BP石油公司	提出了关于油气二次运移聚集的二维模型			
	1988年	日本 Japex石油公司与美 South Carolina 大学	在原简化模型基础上建立了较完整的二维盆地模拟系统			
实际应用阶段	20世纪90年代	各大石油公司与大学及科研机构合作共同开发	软件系统由早期的剖面二维向平面二维和三维模型发展	1990年	北京石油勘探开发科学研究院	推出了二维盆地模拟图形工作站系统 (BMWS)
					中国海洋石油勘探开发研究中心与吉林大学	推出油气资源评价专家系统 (PRES) , 在海上油气资评中得到广泛应用
				1996年	北京石油勘探开发科学研究院	推出了全新的、具有国际版权的盆地综合模拟系统 (BASMS)
					中国海洋石油勘探开发研究中心与美 UC Berkeley大学等	开发了以二维模型为核心的盆地模拟系统 (ProBases)
集成与三维可视化阶段	21世纪	以美国 PRA公司研发的 BasinMod2009 软件为代表				

2 模拟计算所需基础数据及流程

2.1 基础数据的录入

根据盆地模拟五史研究的需要以及含油气系统分析的要求,需要收集整理以下基础数据: ①地质事件和类型,包括地层沉积、剥蚀和间断等; ②厚度用单井分层数据来计算,缺失厚度代表了沉积或剥蚀事件形成的剥蚀量; ③地层年龄及不整合持续时间; ④岩性:各钻井的砂岩、粉砂岩、泥岩、碳酸盐岩及火山岩厚度及其各自的百分比; ⑤有机质丰度,输入各套地层平均有机碳含量; ⑥干酪根类型:需要根据实测有机地化和有机岩石学资料进行确定; ⑦地温资料:包括实测井温、热流值和总热导率等; ⑧其它各种有机地球化学参数:包括镜质体反射率、孢粉

颜色指数、热解、生物标志物参数等; ⑨实测孔隙度; ⑩各种岩石物性资料。(图 1)

以单井为一个数据录入体,把它们输入所需的数据表格以供模拟计算,根据需要可对单井进行模拟,也可分区块进行多井模拟。研究过程中应尽可能收集区内已有的实测资料,以获得精确的计算结果。根据所得资料情况,为了达到研究目的,输入每口井各地层中的各种岩性百分比,再根据单一岩性的原始孔隙度,压实特征、密度、粒度、热导率和热容,计算实际地层的上述参数,如果有实测资料时,用实测资料可对计算值进行校正。

2.2 计算方法的选择

1. 储层物性参数的计算方法

(1)孔隙度的计算

间。

瞬变热流法为完全不同的模型,它考虑了不同岩石单元的热容、热流的瞬间变化不会引起热结构的瞬变,但将随时间缓慢变化,这种变化取决于岩石的热容或热延迟性,模拟热流用瞬变扩散方程结合能量守恒定律进行计算,其热变换方程为:

$$k \frac{dT}{dz} + Q = \rho C_p \frac{dT}{dt}$$

式中 T温度; k热导率; Q热流生成率; ρ热容; t时间。

3 生烃参数的计算方法

镜质体反射率是最常用的成熟度指标之一,在陆相沉积中用得尤为普遍。T_{IT}法计算成熟度假设温度每增加 10℃,反应速度增加 1 倍。T_{IT}与 R_o之间的换算不同学者有不同的认识,代表性的学者有 Goff Hood等, Issler Royder Waples或 Dykstra等,转化率有时可比镜质体反射率更精确地指示成熟度,转化率是指已生成的烃与总生烃潜力的比值,它与成熟度之间有直接对应关系,在反应动力学讨论中均用干酪根的转化率来表示成熟度,不同干酪根类型的转化率所对应的 R_o不同。^[5]

化学动力学方法考虑原始干酪根的组成变化和分布,它计算有机质降解成烃过程中的多个平行反应,每个反应有各自的动力学参数、反应级别(具特别活化能的干酪根含量)、活化能、Arrhenius常数或频率因子。化学动力学方法还考虑不同干酪根类型的生油潜能变化,因此能定量研究烃类的形成,转化率代表了已转化的干酪根与总生烃潜力的比值,简化后的动力学方程同时把干酪根转变成油和气(4 组分模型),油经过二次裂解形成气和残余物质。尽管不能完全逼近发生在烃类形成过程的一系列复杂化学反应,但它却提供了一个易于实施的合理途径。

4 排烃参数的计算方法

排烃是烃类从源岩进入输导层的过程,即初次运移,可用三种方法来确定排烃时间和排烃量:(1)建立油气形成所对应镜质体反射率与排烃效率间的联系;(2)建立转化率与排烃效率间的联系;(3)根据烃饱和度来确定。通常使用第一种方法进行计算,根据不同成熟度阶段(% R_g形成油气的量来计算源岩中排出烃的量。研究表明,几乎所有形成的气都能排出,而只有 95%的油能够排出,在某一反射率值时,排烃效率与生烃量的积获得排烃量,排烃效率随源岩丰度而变化,富含有机质的源岩排烃效率较高。从源岩到输导层的途径同样影响排烃效

率,薄源岩层或裂隙发育的脆性岩层的排烃效率比厚源岩层要高^[3]。

5 有关成熟度指标的计算方法

①镜煤反射率:镜煤反射率(% R_g)是沉积物有机质中的高等植物所派生的镜质体颗粒的反射系数。为计算成熟度,采用 LINL开发的 EASY% R_o模型,这是一个动态模型,以% R_o来衡量成熟度。采用公式为% R_o= 12 exp[-3.3 (H/C)] -(O/C)

② T_{max}:在进行岩石的演化分析期间,样品中的残留干酪根可转成烃类并进行检测, T_{max}是检测转化率最大的温度,依据的时间温度指数 T_{IT}与镜煤反射率 R_o之间的关系,以可计算出 T_{max}

③转化率的计算:在衡量有机质成熟度时,转化率有时候比 R_o更为准确,转化率与 R_o之间有着直接关系,采用公式% R_o= exp(-1.6 + 3.145 TR)来计算转化率 TR^[5]

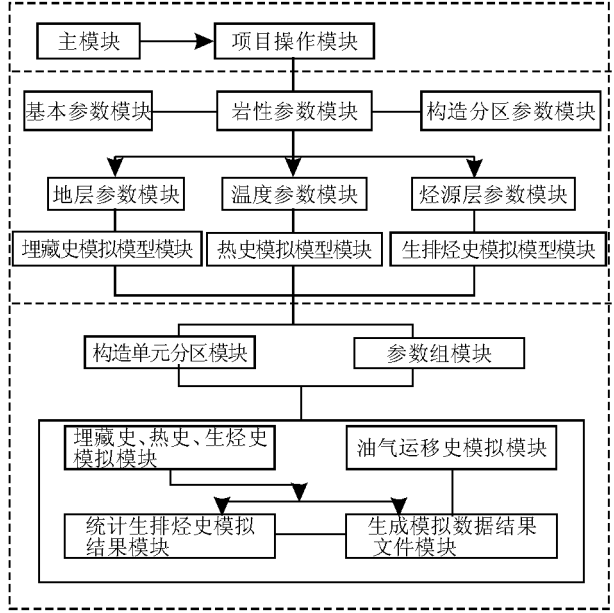


图 2 BasinMod软件模块构成图
Fig 2 Module structures of the BasinMod software

3 盆地模拟软件结构与功能

3.1 软件开发环境

操作系统: Windows98/NT4.0/XP

开发平台: Borland C++ Builder4.0

3.2 BasinMod软件结构

BasinMod软件主要有三部分模块构成:主控模块部分、参数定义模块部分和模拟处理模块部分。(图 2)

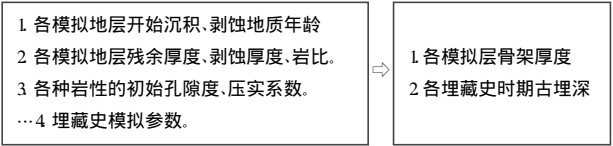
3.3 BasinMod 软件功能

BasinMod 软件主要能进行单井埋藏史、热史和一维拟三维的埋藏史、热史、生排烃史和油气运聚史模拟。

(1) 埋藏史模拟

埋藏史模拟主要根据各单井或网格节点的现今残余厚度及各地层孔隙度压实曲线计算出各单井或网格节点各模拟层的骨架厚度、在各埋藏史时期的古埋深^[6]。

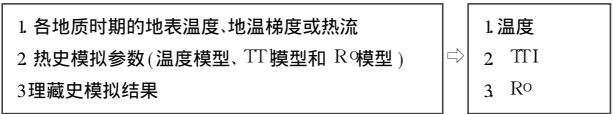
埋藏史模拟的输入输出数据描述如下:



(2) 热史模拟

热史模拟主要在埋藏史模拟的基础上, 考虑地温或热流的变化, 计算出各烃源层在各埋藏史时期的镜质体反射率 (R_o) 的变化。不同的热史模拟方法, 其计算过程不同。化学动力学法需要一套完整的化学动力学参数; TT 法需要确定 TT 模型、R_o与 TT 经验方程。

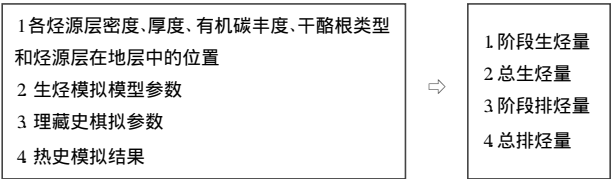
热史模拟的输入输出数据描述如下:



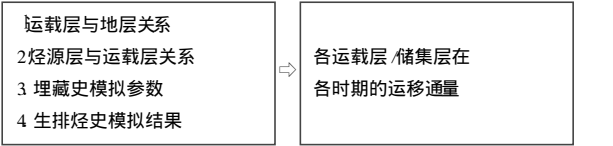
(3) 生排烃史模拟

生烃史模拟主要在上述埋藏史模拟、热史模拟的基础上计算各烃源岩在各埋藏史时期的阶段生烃量及总生烃量; 排烃史模拟主要是计算出各烃源岩在各埋藏史时期的阶段排烃量及总排烃量。

生排烃史模拟的输入输出数据描述如下:



(4) 油气运聚史模拟 油气运聚史模拟主要根据流体势和油气运移散失模型在埋藏史和排烃史模拟的基础上, 计算出各烃源层 (或油气系统) 的可供聚集量, 并进一步估算出各油气系统能够形成的油气资源量。油气运聚史模拟的输入输出数据描述如下:



(5) 与 Surfe 软件接口

BasinMod 软件提供了与 Surfe 软件的接口, 可以对模拟形成的中间结果、最终结果数据体进行分解, 形成各类图形数据体, 并在 Surfe 软件上绘制各种等值图, 如各模拟层各埋藏史时期的古埋深、各烃源层在各埋藏史时期的 R_o 各烃源层在各埋藏史时期的生排烃强度等。借助 Surfe 软件, 实现模拟结果快速直观显示, 便于模拟调参。

(6) 模拟结果统计

主要对各烃源岩各单元在各埋藏史时期的生排烃量进行统计, 得出各种有关生排烃的统计表, 如各烃源岩总的生排烃量表、各构造单元总的生排烃量表、各模拟阶段总的生排烃量表, 以及分区分层的生排烃表等^[7]。

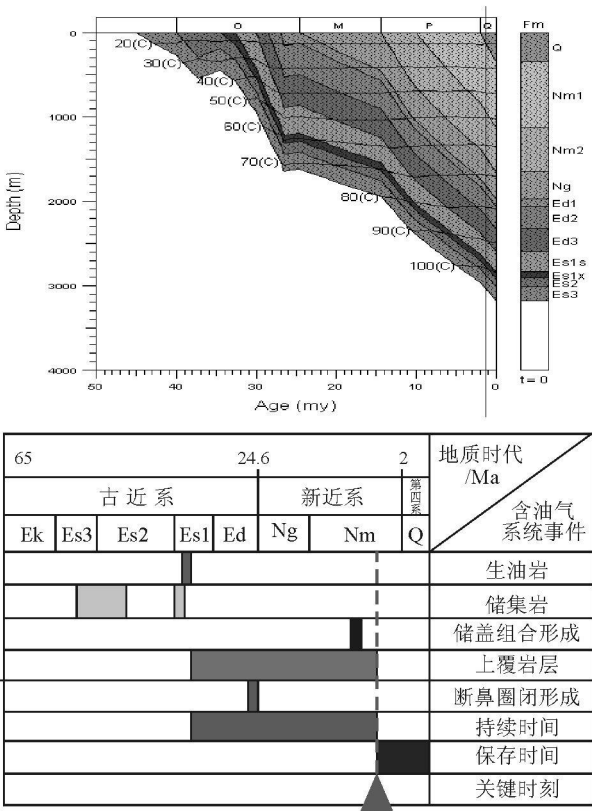


图 3 冀中坳陷蠡县斜坡含油气系统事件图

Fig 3 Historical events in the Petroleum system on the Lixian slope in central Hebei

4 BasinMod 软件应用

BasinMod 盆地模拟软件是本着实用的原则, 边开发边应用的软件。从 1995 年至今, 已经广泛应用于几大盆地及其特定区带的油气资源评价, 指导了相关盆地地区带的石油地质勘探工作, 并取得了丰硕的成果。

BasinMod软件已经在新各田公司得到广泛应用。该软件在《盆地模拟技术在冀中坳陷斜坡带的应用及分析》、《盆地模拟技术在洪泽凹陷的应用》、《塔里木盆地孔雀河地区单井盆地模拟分析》、《准噶尔盆地南缘前陆盆地中—新生代沉降埋藏史模拟》的盆地分析模拟部分得到了大量的运用,再现了以上盆地(区块)的地层埋藏史、烃源岩的热演化史、烃源岩的生烃史和排烃史、油气运聚史^[8]。

在“冀中坳陷斜坡带成藏机理与油气富集规律研究”有项目中,使用 BasinMod完成了盆地模拟部分的工作,总结了冀中坳陷蠡县斜坡含油气系统事件(图 3),以含油气系统理论为指导,在盆地模拟及资源评估基础上,开展多地质信息叠加技术,进行区带评价,指出有利的油气勘探区带,划分出三类有利区,并取得了很好的效果。

参考文献:

[1] 张庆春、石广仁、田在艺. 盆地模拟技术的发展现状与未来展望[J]. 石油实验地质, 2001, 9(3): 312—317

[2] 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.

[3] 王晓红、万仑坤、米石云. 盆地综合模拟系统[M]. 北京: 石油工业出版社, 1998.

[4] 王绪龙、杨海波、钱永新. 盆地模拟技术与 JuiMod盆地模拟软件[J]. 石油工业计算机应用, 2001, 2(3): 24—28

[5] 王文霞、李新宁. 盆地模拟技术在吐哈盆地的应用及分析[J]. 吐哈油气, 2005, 12(4): 308—311

[6] 张渝昌、徐旭辉、江兴歌,等. 展望盆地模拟[J]. 石油与天然气地质, 2005, 2(1): 29—36

[7] 杨海波、兰文芳. 准噶尔盆地南缘盆地模拟—PRA盆地模拟软件应用[J]. 新疆石油地质, 1999, 2(20): 58—75

[8] 郭冬茹. 盆地模拟技术在洪泽凹陷的应用[J]. 石油实验地质, 2003, 2(25): 87—92

[9] 林玉祥. 论低熟油烃产率模型[J]. 石油实验地质, 2001, 23(1): 87—92

[10] 石广仁、郭秋麟、米石云,等. 盆地综合模拟系统 BASMS [J]. 石油学报, 1996, 17(1): 1—9.

Basin modeling techniques and application of the BasinMod software

YUAN Kun, CHEN Bin tao, YU Xing-he, LI Sheng-li
(China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

Abstract Basin modeling has long been employed as an important technique in the exploration and assessment of petroleum basins. The BasinMod2009 software developed by PRA Corporation in 2009 is introduced in the present paper to the modeling of burial history by means of backstripping compaction method, thermal history with the aid of geothermal gradients method, hydrocarbon generation on the basis of the methods of hydrocarbon production rates and chemical kinetics, hydrocarbon migration and accumulation according to the loss patterns of the absorbed oil and gas in the migratory beds, and estimation of oil and gas resources in the light of expulsion accumulation coefficients method. It can be seen that the newly developed software has many advantages of planar, sectional and three dimensional modeling of various basins.

Key words: geological model, modeling system, basin modeling, resource assessment