

油气盆地数值模拟方法

石广仁 编著



石油工业出版社

油气盆地数值模拟方法

石广仁 编著

石油工业出版社

(京) 新登字 082 号

内 容 提 要

油气盆地数值模拟是近 10 年发展起来的新技术。它基于石油地质机理,应用多学科知识,定量模拟一个探区(盆地、拗陷、凹陷、次凹)的地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史,从而进行综合评价,指出有利勘探地带。油气盆地数值模拟是通过计算机实现的,其软件称为盆地模拟系统(Basin Modeling System)。运用该系统,不仅可以从根本上改进与完善石油地质的研究方法,而且还可以逐步实现石油地质绘图的计算机化。所以,盆地模拟技术是逐步实现石油地质量化的重要途径之一。

本书的基本内容是介绍地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史等五大模型的原理、方法及应用。此外,本书还简述了盆地模拟技术的近 10 年发展史及今后发展动向。

本书可作为高等院校石油地质本科学生的选修教材及研究生的教学参考书,也可供石油地质科技人员尤其是盆地模拟研究人员使用。

油气盆地数值模拟方法

石广仁 编著

*

石油工业出版社出版

(北京安定门外安华里二区一号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 $11\frac{1}{4}$ 印张 16 插页 276 千字 印 1—1500

1994 年 8 月北京第 1 版 1994 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-1050-X / TE · 977

定价: 25.80 元

编著者的话

本书是在笔者多年从事盆地模拟的研究、教学、应用的基础上，并参阅了大量国内外有关文献写成的。有些内容是参考他人文献编写的；有些是作者独创的。在内容的选择上，尽量采纳那些先进、有效、经过实践考验的技术，目的是为发展我国盆地模拟技术做一点贡献。

笔者力求做到使读者既能从宏观上了解盆地模拟的原理、方法及应用范围，又能从微观上掌握各种方法细节，进而会设计软件。

在盆地数值模拟研究工作中，曾得到了翟光明教授的全面指导。在某些方法研究中，与郭秋麟、张庆春、王孝陵同志进行了有益的讨论。在应用工作中，先后得到了胡有福、李惠芬、范毓惠、罗强、李一纯等同志的有效合作。本书引用的不少插图是由郭秋麟同志与作者合作研制的绘图软件制作的。在此一并表示感谢。

由于笔者受科学水平的限制，书中难免存在一些错误和缺点，恳切希望读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第 1 节 盆地模拟的任务和性质	(1)
第 2 节 盆地模拟的内容	(1)
第 3 节 盆地模拟的发展简史	(3)
第 4 节 盆地模拟的发展动向	(4)
盆地模拟系统概述	(6)
第 1 节 输入参数	(6)
一、地史模型的输入参数	(6)
二、热史模型的输入参数	(7)
三、生烃史模型的输入参数	(7)
四、排烃史模型及运移聚集史模型的输入参数	(7)
第 2 节 模拟方法	(7)
第 3 节 输出图件	(9)
一、地史模型的输出图件	(9)
二、热史模型的输出图件	(9)
三、生烃史模型的输出图件	(9)
四、排烃史模型的输出图件	(9)
五、运移聚集史模型的输出图件	(10)
第一章 地史模型	(11)
第 1 节 回剥技术 (正常压实带)	(12)
一、各剥蚀事件开始时分层深度预测	(16)
二、逐层回剥过程	(17)
三、埋藏点的加密	(21)
第 2 节 超压技术 (欠压实带)	(21)
一、非生油层	(22)
二、生油层	(22)
三、古超压方程	(22)
四、古厚度方程	(27)
五、古超压方程的求解	(27)
六、古厚度方程的求解	(29)
七、古超压史和古厚度史的计算	(30)
第 3 节 回剥与超压相结合的技术	(31)
第 4 节 构造史的恢复	(31)
第二章 热史模型	(34)
第 1 节 地球热力学法	(34)

一、McKenzie 法	(35)
二、Falvey 法	(36)
第 2 节 地球热力学与地球化学相结合的方法	(37)
第 3 节 除 R_0 外的其他地球化学资料	(42)
一、甾烷或萜烷的等比法	(42)
二、甾烷的芳烃法	(43)
三、磷灰石面积径迹数密度法	(44)
四、磷灰石平均径迹长度法	(44)
五、磷灰石径迹长度分布法	(45)
第三章 生烃史模型	(47)
第 1 节 烃类成熟度史	(47)
一、 $TTI-R_0$ 法	(48)
二、化学动力学法	(51)
第 2 节 生烃量史	(64)
一、基于 R_0 史的生烃量计算	(65)
二、基于降解率史的生烃量计算	(69)
三、含烃饱和度计算	(71)
第四章 排烃史模型	(74)
第 1 节 压实法	(74)
一、排出系数	(74)
二、排油强度	(76)
三、排油量	(77)
第 2 节 压差法	(78)
一、进入生油门限时	(79)
二、进入生油门限后	(79)
三、排油量	(81)
第 3 节 渗流力学法	(82)
第 4 节 排烃方向	(85)
一、法线方向法	(85)
二、达西定律法	(85)
第五章 运移聚集史模型	(88)
第 1 节 孔隙介质中流体运动的基本方程组	(89)
第 2 节 油气水三相运动方程组	(90)
第 3 节 有限差分方程组	(91)
第 4 节 边界条件	(96)
一、封闭边界	(97)
二、流动边界	(97)
第 5 节 初始条件	(101)
一、饱和度初值	(101)
二、压力初值	(102)

第6节 全隐式解法	(103)
一、全隐式方程组	(104)
二、系数矩阵	(116)
三、右端常数项	(127)
四、线性代数方程组求解	(128)
第7节 模拟域与模拟时间的特殊处理	(129)
一、模拟域的特殊处理	(130)
二、模拟时间的特殊处理	(133)
第8节 主要的单项模拟量指标	(133)
一、运移速度计算	(134)
二、运移流线计算	(134)
三、各单项模拟量指标实例	(135)
第六章 盆地模拟软件技术	(137)
第1节 方法说明书	(138)
第2节 编码手册	(138)
第3节 操作手册	(150)
第4节 模型题	(153)
第5节 软件流程图	(156)
第6节 源程序	(157)
一、层次	(157)
二、英文注释	(159)
三、程序设计语言	(165)
四、公共块	(165)
五、模拟计算软件与绘图软件之间的相互独立性	(165)
计量单位换算表	(167)
参考文献	(170)

绪 论

由于石油地质学的多学科性和复杂性，该领域基本上尚处于定性或局部定量的阶段。目前计算机在石油地质学领域中的应用，主要有三大类：模拟技术、统计技术、专家系统。模拟技术基于物理化学的地质机理，已有 10 多年的历史；统计技术基于地质数据的统计分析，已有 20 多年的历史；专家系统基于地质家分析的人工智能，已有 10 年的历史。这三大类技术，各有所长，各有所短。然而，相比之下，模拟技术比其他两大类更加接近石油地质机理，便于直接揭示盆地油气规律本质。

所谓盆地模拟 (Basin Modeling)，即从石油地质的物理化学机理出发，首先建立地质模型，然后建立数学模型，最后编制相应的软件，从而在时空概念下由计算机定量地模拟油气盆地的形成和演化，烃类的生成、运移和聚集。所以，从学科分类来看，可定名为“盆地数值模拟”；从其软件产品来说，可定名为“盆地模拟系统”。这是当今世界石油地质科学领域内的一门新兴课题。

第 1 节 盆地模拟的任务和性质

石油地质家的任务是更快地以最少的资金投入找到更多更大的油气藏，查明地下油气资源，为高速发展石油工业奠定物质基础。而石油和天然气深埋地下，又是流体，控制它们分布的自然条件很复杂。那么，究竟是哪些条件控制油气资源的分布？应该如何去寻找油气藏？这是石油地质学所要回答的主要问题。盆地模拟的任务就是实现这个石油地质研究过程的定量化和计算机化，为石油地质家提供一个快速、定量、综合的研究手段——盆地模拟系统软件。盆地模拟的方法来自于常规的石油地质研究，但又区别于常规方法，即全量化。盆地模拟系统是以石油地质机理为基础、应用多学科知识而建立起来的大型综合软件，由地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史等五个模型有机组成的统一体，这几乎牵涉到石油地质领域的各个分支。这种定量的历史模拟能够直接揭示盆地油气规律本质，不仅可以从根本上改进与完善石油地质的研究方法，而且可以实现计算机自动绘图替代繁重的手工绘图。所以，有些学者称盆地模拟是石油地质的一场革命。

今天，石油地质领域的计算机应用仍然是石油勘探开发计算机应用中最薄弱的环节，这与石油地质在勘探开发中的重要地位极不相称。盆地模拟新技术正在逐步扭转这一落后局面，使石油地质朝着量化、计算机化和绘图自动化方向前进。多年的实践证明，盆地模拟是实现石油地质量化的重要途径。

第 2 节 盆地模拟的内容

顾名思义，盆地模拟是对整个盆地的演化进行历史模拟。其实不然，只要是一个基本独立的油气生聚单元，就可对之进行模拟，所以模拟区域可以是盆地，也可以是坳陷、凹陷或次凹等。盆地模拟系统输入地质、地震、测井、地化甚至开发试验等资料，模拟上述的一个

地质单元的沉积史、构造史、古热流史、古地温史、生烃史、排烃史和运移聚集史，从而进行油气资源评价，指出有利勘探地带。

一个完整的盆地模拟系统由如下五个模型有机组成：

- 地史模型；
- 热史模型；
- 生烃史模型；
- 排烃史模型（油气初次运移）；
- 运移聚集史模型（油气二次运移）。

地史模型的功能是重建油气盆地的沉积史和构造史，应考虑沉积压实、超压、剥蚀、沉积间断以及断层等因素。该模型是盆地模拟的基础，其精度直接影响后面四个模型的精度。采用的模拟方法可分为三种：回剥技术（适用于正常压实带）；超压技术（适用于欠压实带）；回剥与超压相结合的技术（适用于正常压实带和欠压实带）。

热史模型的功能是重建油气盆地的古热流史和古地温史。该模型是盆地模拟的关键，因为古地温史是烃类成熟度的最重要客观因素。采用的模拟方法可分为两种：地球热力学法（可靠性较差）；地球热力学与地球化学相结合的方法（可靠性较好）。

生烃史模型的功能是重建油气盆地的烃类成熟度史和生烃量史。该模型是盆地模拟的相当重要的部分，因为生烃量史是油气资源评价的一部分。采用的模拟方法可分为两种： $TTI-R_0$ 法（适用于勘探程度较高地区）；化学动力学法（适用于勘探程度较低地区）。

排烃史模型的功能是重建油气盆地的排烃史（又称油气初次运移史）。该模型是盆地模拟的非常重要的部分，因为排烃量史和排烃方向史是油气资源评价的一部分。采用的模拟方法有：压实法求排油史，适用于孔隙度变化正常的情况；压差法求排油史，适用于孔隙度变化异常的情况；渗流力学法求排油史、排气史、排水史。

运移聚集史模型的功能是重建油气盆地的运移聚集史（又称油气二次运移史）。该模型是盆地模拟的最重要的部分，因为油气运聚量史是油气资源评价的最重要结果。采用的模拟方法主要有两种：二维二相，即垂直剖面、油水或气水；三维三相，即立体空间、油气水共存。

油气初次运移主要发生在垂直方向。一维盆地模拟系统只考虑垂直方向（ z 轴），故它足以模拟油气初次运移。油气二次运移不仅发生在垂直方向，而且主要发生在横向，故欲模拟二次运移至少需要二维盆地模拟系统（ x 轴和 z 轴），最好是三维盆地模拟系统（ x 轴、 y 轴和 z 轴）。显而易见，一维系统只能包括上述的前四个模型，二维和三维系统可以包括上述的五个模型。

当前流行的盆地模拟系统仍是一维系统。二维和三维系统所需的数据比一维系统多，但能模拟油气二次运移。

一般来说，判断一个盆地模拟系统的优劣可从如下四个方面考虑：（1）输入参数的种类和数量尽可能多；（2）模型数目齐全，即一维系统应由上述四个模型组成，二维和三维系统应由上述五个模型组成；（3）各模型的方法正确，技术先进；（4）输出图件的种类齐全，精确实用。

第3节 盆地模拟的发展简史

盆地模拟是当今世界石油地质领域内一个大型综合性的新课题。10多年来,若干国家做了大量研究工作,取得了较大进展。例如,德国^(1, 2)、法国^(3, 4, 5)、美国^(6, 7, 8)、英国⁽⁹⁾、日本^(10, 11, 12, 13)以及中国^(30, 31, 32)等国家相继在计算机上建立了规模不等的盆地模拟系统,并投入应用。

盆地模拟系统是一个大型综合性的计算机软件。根据公开发表的文献,按照国家和时间次序,简述如下:

1978年原西德尤利希核能研究有限公司石油与有机地球化学研究所(以下简称“德国尤利希公司”),建立了世界上第一个一维盆地模拟系统^(1, 2)。其主要内容是:在欠压实地带通过超压方程求流体速度,为后面的热流方程的对流项计算提供参数;通过关于热传导和对流的热流方程求古地温史;为使计算结果与实际资料符合而反复调整计算,得到最终计算结果(其中包括埋藏史);两史结合求 TTI 和 R_0 ;在 R_0 的基础上,进行生烃量和排烃量的计算。由于是一维模型,不可能进行油气二次运移和聚集的模拟。

1984年法国石油研究院,建立了一个较完整的二维盆地模拟系统^(4, 5)。其主要内容是:输入经地质解释的测井资料和地震剖面,通过回剥技术求出埋藏史;输入地震折射数据和今热流实测值,通过地球动力学法求出古热流史;输入岩性资料和岩石热导率,通过地球热力学法和烃类成熟法求出古地温史和烃类成熟度史;输入生油岩石油潜量和岩性资料,通过两相运移法求出流体压力史和油聚集史;输入烃类各组分数据,通过地球热力学法求出沿着通道运移的含溶解气的油量。

1984年美国南卡罗拉那大学地质科学系(以下简称“美国南卡大学”)提出了用镜质体反射率确定古热流的方法⁽⁶⁾,打破了以前单纯使用地球热力学法^(1, 2, 4, 5, 14, 15)的传统,被认为是“最精确最好的方法”⁽¹⁶⁾。1988年又提出了用其它几种地化资料确定古热流的方法^(7, 8),扩大了该法的应用范围。

1987年英国不列颠石油公司(简称“英国BP公司”),提出了一个关于油气二次运移聚集的二维模型⁽⁹⁾,宣称可以与将成为实用的三维模型媲美。其主要内容是:烃类划分为二相,即含饱和水的“石油液”和含饱和水的“石油气”;“石油气”又含不同的组分;地下的相态作为运移的重要因素;水流动和浮力的合成作为运移的驱动力;渗流机理基于达西定律;运移损失与通道的孔隙体积有关。该模型是目前公开发表的论述油气二次运移与圈闭问题的较好模型。

1981年日本石油勘探有限公司勘探部(以下简称“日本石油勘探公司”),建立了一个简化的二维盆地模拟系统⁽¹⁰⁾。其主要内容是:在地质剖面上划分成许多小矩形单元;在每个单元上恢复原始厚度,并放入沉积物;对于每个单元,随着埋藏时间和深度的增加而计算压实量、生烃量和排烃量;采用浮力法研究二次运移,估算每个单元附近存在断层和地层圈闭的可能性。1987年建立了一个一维排烃模型⁽¹¹⁾,它完善了1981年盆地模拟系统的排烃部分,不仅较好地算出排烃量,而且还可作为用尝试法重建盆地、研究重要参数的手段。该模型是目前公开发表的论述排烃数值模拟的较好模型。1988年又建立了一个较完整的二维盆地模拟系统^(12, 13),它是日本石油勘探公司以前的简化二维模型⁽¹⁰⁾和一维排烃模型⁽¹¹⁾的发展,并引入和改进了德国尤利希公司的一维模型^(1, 2)。该模型是与美国南卡大

学合作完成的^[12]。其主要内容是：流体运动，传热（传导和对流），烃类生成和运移。虽然该系统的烃类生成和运移模型有一定的特色，如考虑了独立的油相或气相运移、热膨胀力、毛细管力、胶结（或溶解）的裂缝以及断层等，但在系统的全面性和实用性上仍比不上法国石油研究院的二维盆地模拟系统^[4, 5]。

综上所述，可以看出盆地模拟系统 10 多年发展史的主要趋势如下：

——从空间来说，由一维模型^[1, 11]发展成二维模型^[5, 9, 13, 30, 31]，正朝着三维模型方向发展。

——从烃类运移的相位来说，由笼统的单相（流体）^[1]发展成二相（油水或气水）甚至三相（油气水）^[5, 9, 13, 30, 31]，正朝着组分方向发展。

——从地史的模拟方法来说，由“反复调整参数进行计算使结果与今天实际资料吻合”的正演法（从古到今）^[1]发展成“结果必然与今天实际资料完全一致”的反演法（由今溯古）^[4, 32]，正朝着正反演相结合方向发展。

——从热史的模拟方法来说，由单纯的地球热力学法^[1, 4]发展成地球热力学与地球化学相结合的方法^[6, 7, 8, 32]。

——从运移聚集史来说，由不考虑油气二次运移聚集发展成考虑油气二次运移聚集，由简化的模型^[10]发展成较完备的渗流力学模型^[5, 9, 13, 30, 31]，正朝着三维组分方向发展。

第 4 节 盆地模拟的发展动向

由于盆地模拟是从石油地质机理出发，综合研究油气盆地的地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史，所以它对于石油地质学的定量化和计算机化起着重大的推动作用，并必将引起石油地质界越来越高的重视。预计在 90 年代内将出现重大的进展和突破，可归纳为如下三个方面。

一、系统规模

1. 一维系统的普及

尽管一维系统有其“不能模拟油气二次运移”的缺点，但它具有能在微机上运行而便于推广的优点，尤其适用于勘探程度较低的地区。

2. 三维系统的出现

现有的二维系统能粗略地模拟油气二次运移，在一维系统的基础上前进了一大步。然而，油气运移毕竟是在三维空间进行的，二维空间仅是它的特例。所以，精确地模拟油气二次运移，非三维系统不可。三维系统需有高速大容量的计算机，这在石油界已不是一个大问题，因为地震资料处理和油藏模拟也必须使用大型机。特别是，如能采用三维系统解决圈闭位置及其聚集量问题——石油勘探的焦点，耗资购置大型计算机是值得的。

二、方法突破

目前在盆地模拟系统内五个模型的方法研究上，总的来说，生烃研究相当成功，地史和热史次之，排烃研究再次之，最薄弱的环节是运移聚集。今后突破的方向应是以下几个方面：

1. 地史模型

不仅能处理复杂断层，而且考虑了盆地的挤压或拉张的因素，构造史的模拟达到实用水平。

2.热史模型

地球热力学与地球化学相结合的方法，得到进一步完善和提高。

3.生烃史模型

随着地化技术的进一步提高，生烃量计算的精度有所提高，碳酸盐岩生烃研究中存在的问题也得到一定的解决。

4.排烃史模型

随着排烃机理研究的深入以及三维系统的引入，排烃史模型日趋完善。

5.运移聚集史模型

随着构造史模拟的完善以及三维混相（甚至多组分）渗流力学方法的引入，可以较正确地指出圈闭位置及其聚集量。

三、软件结构

1.工业化程度

盆地模拟系统与遥感信息处理系统、地震资料处理系统、测井资料解释系统建立良好接口，成为这三个石油勘探主力软件的“上层建筑”，将使盆地模拟系统的工业化程度发生质的变化。

2.绘图技术

图形工作站软件和大型彩色绘图软件在石油地质应用中的不断开发，使盆地模拟系统的图形输入输出功能十分完备，成为石油地质的不可缺少的环节。

盆地模拟已经历了过去的第一个10年，虽然其软件仍处于一维（少数二维）、单相（少数二相）的状况，但实际应用已证明它是石油勘探的有力工具。90年代将是盆地模拟迅速发展的10年，可以预见：（1）一维盆地模拟系统（微机、低档工作站）将得到普及；（2）三维盆地模拟系统（大中型计算机、高档工作站）的研制成功，将促使构造史和油气运移聚集史的模拟日趋完善，从而较精确地指出油气藏的位置和聚集量；（3）传统的手工绘图将被计算机自动绘图替代。

只要我们重视并努力发展盆地模拟技术，我国的石油地质可望在本世纪末基本实现定量化和计算机化，并在国际上处于先进甚至领先的地位。

盆地模拟系统概述

盆地模拟系统是指盆地模拟的软件产品，是地质模型和数学模型的最终的全面表现。盆地模拟的研究工作由地质模型、数学模型、软件、应用这四个环节组成。它们有机联系，相辅相成，其中应用环节是检验盆地模拟系统成败的唯一标志。一旦应用出现问题，首先检查软件是否符合数学模型；如不符，就得修正软件。如果软件正确，就检查数学模型是否反映地质模型；如不反映，就得修正数学模型，再修改软件。如果数学模型正确，就检查地质模型的原则是否表达了石油地质的客观规律；如果不是，就得修正地质模型，再修改数学模型和软件。由此可见，无论是盆地模拟的研制过程还是实际应用过程，四个环节的检查最终都落实到软件这个环节。盆地模拟的任务全是由软件来完成，模拟结果全是由软件运行获得。当然，地质效果不仅依赖于模拟结果，而且还依赖于石油地质家的人工分析。两者相结合，会使盆地模拟的应用效果更好。但作为盆地模拟系统的研制者，应将尽可能多的人工分析交给软件去自动完成。自动化程度越高，软件的水平就越高。这就是为什么盆地模拟系统的研制远比其他石油勘探开发软件难度大的原因所在。

与其他大型软件一样，盆地模拟系统分三大独立部分：输入程序、模拟程序和输出程序（参见“盆地模拟系统流程图”）。输入程序包含数字输入和图形输入，输入数据的种类和数量越多，模拟结果的精度和可信度就越高。模拟程序是盆地模拟系统的核心，所含的各模型的方法越多，技术越先进，应用的适应性就越强，地质效果就越好。输出程序包含数字输出和图形输出，其中图形输出是关键，绘图技术越高，图件的精度就越高，实用性就越好。

下面分别简述盆地模拟系统的输入参数、模拟方法、输出图件等三个方面。

第1节 输入参数

输入到盆地模拟系统中的数据来源于地质、地震、测井、地化和开发试验等资料。一般来说，输入参数的种类越多，盆地模拟系统的功能越强；输入参数的数量越大，应用的地质效果越好。盆地模拟系统能够使用几乎所有的勘探数据以及部分开发试验数据。这是盆地模拟系统与其他石油地质软件的显著区别。

以下按地史、热史、生烃史、排烃史及运移聚集史各模型的顺序，分别列出各种输入参数。

首先介绍分区概念。一个模拟区域（以下简称全区）应分成若干小区。对于某些参数，在各小区内的数据是不同的，当然在个别情况下允许相同。小区划分的原则是各小区的沉积压实、烃类成熟度、生烃门限、油层物性和高压物性不同，例如孔隙度—深度曲线、 R_o —深度曲线、生烃开始和结束门限、油气水地表密度、束缚油气水饱和度、岩石压缩率、 PVT 函数、相渗透率曲线、毛细管力曲线等。

一、地史模型的输入参数

全区参数：各地层名称及其地质年龄；各地震剖面名称；断层的位置。

分区分层参数：孔隙度—深度曲线（分砂岩、泥岩、灰岩等）；骨架的颗粒比面（或若

干渗透率与孔隙度的对偶数据)。

分层参数: 各地层的边界线。

单井参数: 井名; 井位; 各地层的分层深度、剥蚀量、剥蚀开始年代、断点深度、断距恢复量、断裂开始年代、泥岩含量、灰岩含量等。

注:“单井”包括已钻井和地震剖面上选取的“人工井”。

二、热史模型的输入参数

全区参数: 地表年平均温度。

分区参数: R_0 -深度曲线。

单井参数: 今地温梯度。

三、生烃史模型的输入参数

全区参数: 各生油层名称; 油气转换率; 干酪根的各个活化能以及对应于每个活化能的各种干酪根所具有的生烃潜量和频率因子; 各种干酪根的降解率— R_0 曲线 (或产油率— R_0 曲线)、产气率— R_0 曲线。

分区参数: R_0 的生油、生气的开始和结束门限。

分区分生油层参数: 各种干酪根在各生油层中所占百分比。

生油层分层参数: 油密度; 暗色泥岩比重; 残余有机碳恢复系数。

单井生油层参数: 暗色泥岩百分比; 残余有机碳百分比。

四、排烃史模型及运移聚集史模型的输入参数

全区参数: 各断层的渗透率与其周围介质的渗透率相比之倍数 (分开始断裂、中间、现今等时间)。

分区参数: 包括,

PVT 函数——油、气、水的地层体积因子, 油、气、水的粘度, 溶解油气比, (即这七个参数与压力的七个关系曲线);

相对渗透率——油水系统中的相渗透率曲线, 即: 水相渗透率—水饱和度曲线、油相渗透率—水饱和度曲线; 油气系统中的相渗透率曲线, 即: 气相渗透率—气饱和度曲线、油相渗透率—气饱和度曲线;

毛细管力——油水系统中的毛细管力曲线, 即: 毛细管力—水饱和度曲线; 油气系统中的毛细管力曲线, 即: 毛细管力—气饱和度曲线;

油、气、水的地表密度;

油、气、水的束缚饱和度;

孔隙度—压力曲线, 即: 地表孔隙度及与孔隙度有关的岩石压缩率。

对于盆地模拟系统, 大体上有上面这些输入参数。对于一个特定的盆地模拟系统, 其输入参数会有一定的增补或删减。

第2节 模拟方法

模拟方法泛指地质模型和数学模型, 即模拟程序的数值方法和逻辑方法。盆地模拟系统的技术水平, 不仅取决于软件, 更主要地取决于模拟方法。模拟方法的正确性和先进性是决定盆地模拟系统成败的关键。那么, 如何研究模拟方法? 人们往往会认为: 首先由地质家搞出地质模型, 然后由数学家搞出数学模型, 最后由程序人员编出软件。实践证明, 这种想法

是错误的。实际上，地质模型—数学模型—软件是统一体，不能分裂开。特别强调一下，盆地模拟范围的地质模型是指按物理和化学术语描述有关的地质过程。由于石油地质的错综复杂性和多学科性，在大量的研究内容中有的可以量化，有的暂时不能量化，有的在一段时间内根本不能实现量化，所以地质家在研究地质模型时必须具备这种判断力，确保提出可以或可能量化的地质模型。这就需要地质家具有足够的数理化知识。同样，研究数学模型的数学家必须具有足够的石油地质知识，才有可能把地质模型转变为数学模型。同样，研制软件（尤其是模拟程序）的程序人员必须具有一定的数理化和石油地质的知识，才有可能编制出如此综合、如此复杂的盆地模拟系统。所以，在研制盆地模拟系统的过程中，各专业人员必须相互学习，相互渗透。作者认为，地质家应尽可能多地掌握数理化知识，数学家和软件专家应尽可能多地掌握石油地质知识。

盆地模拟是石油地质领域中的一门新兴课题，故其模拟方法的发展日新月异。既然盆地模拟系统由地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史这五个模型有机组成，模拟方法也就分为系统方法和局部方法。系统方法是指系统的总体设计思想、各模型间的有机联系。一般来说，五个模型运行的先后次序为：地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史。每个模型的运行都是建立在输入参数以及前面模型的计算结果的基础上。局部方法是指各模型所采用的模拟方法和技术，完成指定的历史模拟的任务。迄今为止，世界上已投入应用的大型盆地模拟系统所采用的模拟方法大体上如表 1 所示。这些模拟方法将在本书后面的有关章节中分别给予详细介绍。

表 1 主要的模拟方法

模型	模拟的功能	模拟的方法	适用范围
地史	沉积史和构造史	回剥技术	正常压实带
		超压技术	欠压实带
		回剥与超压相结合	正常压实带和欠压实带
热史	古热流史和古地温史	地球热力学法	可靠性较差
		地球热力学法与地球化学法相结合	可靠性较好
生烃史	烃类成熟度史和生烃量史	$TTI-R_0$ 法	勘探程度较高地区
		化学动力学法	勘探程度较低地区
排烃史	排烃量史和排烃方向史	压实法	孔隙度变化正常的情况（排油）
		压差法	孔隙度变化异常的情况（排油）
		渗流力学法	排油、排气、排水
运移聚集史	油气运移史和油气聚集史	二维二相渗流力学	垂直剖面、油水或气水
		三维三相渗流力学	立体空间、油气水共存

第3节 输出图件

输出程序包含数字输出和图形输出。盆地模拟系统的各种历史模拟的计算结果非常浩大, 多达几亿至几百亿个数据, 具体数量尤与系统的维数有关。全部以数字形式输出, 既没有必要, 也无法使用。实际上, 极大部分数据作为输出图件的参数之用, 只有少量数据以数字形式输出作为检测软件功能之用, 个别数据则是重要的模拟结果统计数。因此, 盆地模拟系统的输出程序实质上是绘图程序。由于石油地质的图件种类繁多、精度要求高, 所以设计和实现绘图程序的要求也高。鉴于地下情况必须以图件形式表示, 迫使绘图程序朝着纵深方向不断发展。

以下按地史、热史、生烃史、排烃史和运移聚集史各模型的顺序, 分别列出各种输出图件。

一、地史模型的输出图件

1. 回剥柱状图 (单井图);
2. 沉积速率图 (单井图、平面等值图、立体图);
3. 埋藏史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图);
4. 古超压史图 (单井图、平面等值图、平面流线图、立体图);
5. 古压力史图 (单井图、平面等值图、平面流线图、立体图)。

二、热史模型的输出图件

1. 古热流史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图);
2. 古地温史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图)。

三、生烃史模型的输出图件

1. TTI 史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图);
2. R_o 史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图);
3. 降解率史图 (单井图、垂直剖面图、平面等值图、立体图);
4. 生油强度史图 (平面等值图、立体图);
5. 生气强度史图 (平面等值图、立体图);
6. 生油量史图 (直方图);
7. 生气量史图 (直方图);
8. 含油饱和度史图 (平面等值图、立体图);
9. 含气饱和度史图 (平面等值图、立体图)。

四、排烃史模型的输出图件

1. 排油强度史图 (平面等值图、立体图);
2. 排气强度史图 (平面等值图、立体图);
3. 排水强度史图 (平面等值图、立体图);
4. 排油量史图 (直方图);
5. 排气量史图 (直方图);
6. 排水量史图 (直方图);
7. 排油流线史图 (平面等值图、立体图);

8. 排气流线史图 (平面等值图、立体图);
9. 排水流线史图 (平面等值图、立体图)。

五、运移聚集史模型的输出图件

1. 运载层 / 储集层油势史图 (垂直剖面图、立体图);
2. 运载层 / 储集层气势史图 (垂直剖面图、立体图);
3. 运载层 / 储集层水势史图 (垂直剖面图、立体图);
4. 运载层 / 储集层油压力史图 (垂直剖面图、立体图);
5. 运载层 / 储集层气压力史图 (垂直剖面图、立体图);
6. 运载层 / 储集层水压力史图 (垂直剖面图、立体图);
7. 运载层 / 储集层油饱和度史图 (垂直剖面图、立体图);
8. 运载层 / 储集层气饱和度史图 (垂直剖面图、立体图);
9. 运载层 / 储集层水饱和度史图 (垂直剖面图、立体图);
10. 运载层 / 储集层油运移速度史图 (垂直剖面图、立体图);
11. 运载层 / 储集层气运移速度史图 (垂直剖面图、立体图);
12. 运载层 / 储集层水运移速度史图 (垂直剖面图、立体图);
13. 运载层 / 储集层油运移流线史图 (垂直剖面图、立体图);
14. 运载层 / 储集层气运移流线史图 (垂直剖面图、立体图);
15. 运载层 / 储集层水运移流线史图 (垂直剖面图、立体图);
16. 有利勘探地带综合评价图。