

李福垠 编著

黑油和组分模型的应用



科学出版社

登录号	126547
分类号	P618.13
种次号	054

黑油和组分模型的应用

李福垠 编著

SY20/12



石油0121568

科学出版社

1996

内 容 简 介

本书是常规油藏、挥发油藏、凝析气藏的数值模拟理论、应用方面研究的专著。它系统地总结了黑油模型、全组分模型的一般概念、理论基础、矿场实际模拟应用经验,并指出今后进一步研究和发展的领域。

本书共分二个部分二十五章。前十章主要讲述黑油模型,后十五章主要介绍全组分模型。

本书主要读者对象是从事油、气田开发、开采研究的科技人员、现场工程技术人员和石油院校有关专业的老师、学生参考、使用。

图书在版编目(CIP)数据

黑油和组分模型的应用/李福垠编著. -北京:科学出版社, 1996. 11

ISBN 7-03-005430-X

I. 黑… II. 李… III. 油气藏-数值模拟-模型 IV. P61 8.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 17614 号

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 11 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1996 年 11 月第一次印刷 印张: 20

印数: 1—1100 字数: 459 000

定价: 38.00 元

序

由于计算技术的急速发展，油藏数值模拟已经成为油藏工程师们手中所掌握的一个重要的手段。在现代油藏研究，无论是静态还是动态的分析研究，对油藏开发效果的评价、对于油藏进一步开发使用、提高采收率新技术的可能性等等，各种各样的问题如果离开了数值模拟技术几乎已经无法进行。因此，数值模拟对于油藏工程师的工作已经变得越来越重要。随着计算速度的不断提高，功能不断改进，新的模拟技术也在不断发展，而这种硬件和软件相互促进平行发展的情况，正是当前高技术进入各个领域的一个共同的普遍规律，例如石油开发。

但是计算技术的不断发展，在石油开发领域中却受到对油藏认识的限制。油藏就其本质上讲是一个地质实体，因此有着地质实体的共有规律，即在空间上任何一个标度中都有着非均质性，面对有些参数的认识例如含油饱和度、毛管压力，至今人们还不能十分肯定的说明其规律，而目前所有的探测手段的分辨率还远远不能满足我们的要求。因此，我们目前适用数值模拟方法对油藏进行研究所得到的结果还只能是相对的，或者说是半定量的，或者说或多或少是某种尺度上的平均的结果。

因此，使用数值模拟时，如果要获得更好的更符合实际的结果，就需要对油藏及其各种参数进行更深入的了解。对油藏了解得越深，提供的参数就越接近实际，用数值模拟得到的结论也就越接近实际情况。

本书作者李福垠同志是一位较有经验的油藏工程师，也是一位很有经验的数值模拟工作者。在本书中集中反映了他多年来的工作经验，旨在说明进行数值模拟时油藏地质研究和油藏工程参数的采集对数值模拟结果将起什么样的作用。同时也用来说明这几个学科之间的相互关系，以及各学科之间的边缘科学应如何发展，应该说黑油模型和组分模型是两种比较成熟的常规的模型，在深入研究油藏特点的基础上，它们又能解决多少难以解决的复杂的油藏问题。

相信本书的出版，对我国在数值模拟的发展，特别是用于解决实际问题方面将起重大的作用。

秦同洛

1994年11月7日

前 言

这本书是在1990年编写的《油藏数值模拟原理及应用(黑油)》教材之后,比较全面的介绍组分模型原理与实际应用,即形成本书《黑油和组分模型的应用》。作者并不想追求对重质油、挥发油和凝析气田的开发理论和实践作全面的阐述,因经验表明,每个投入开发的油气藏都有自己的特点。况且,在目前油藏地质学、油藏工程学、油藏数值模拟等方面专门学科的专著在各自领域里已比较全面和详细进行阐述。作者的本意,利用数值模拟工具,把这些学科连结起来,介绍它们学科边缘问题和实践、边缘和边缘之间关系,试图把它们有机的连接成为一体。在这种情况下为油田开发工作者提出应用(或了解)黑油、组分模型,对一般常规油气藏开发、挥发油和凝析气等特殊类型的油气藏开发所需研究和工作范围、方法和解决问题的途径。希望油田工作者特别是油藏工程师阅读此书后有所帮助。

“八五”期间我国的油田开发水平、油藏数值模拟技术有了较大的发展,本书试图总结和反映“七五”期间成果和“八五”期间的油气田开发新概念、新水平、油藏数值模拟新技术、新方法。由于作者水平有限和工作局限,上述题目还有待进一步完善和补充。

本书总结近10年油藏数值模拟经验,也借鉴了国内外同行之经验。在文中石油天然气总公司石油勘探开发科学研究院桓冠仁、陈文兰教授,王荷美、施文、由军、刘合年、陈立生等高级工程师曾在某些研究领域作了大量工作,并给予帮助;秦同洛教授、贾文瑞教授等工作给予极大支持;在文中第20章第1—4节和第20章第1节也专门引用施文的研究成果;在此一并表示感谢。

李福垞

1996年3月

目 录

第一部分 黑油模型	(1)
第一章 油藏数值模拟综述	(2)
1.1 油藏数值模拟概念	(2)
1.2 数学模型	(2)
1.3 为什么进行油藏数值模拟	(6)
1.4 由谁来做油藏模拟	(6)
1.5 什么时候开始做模拟	(6)
1.6 怎样做模拟	(6)
1.7 油藏数值模拟发展回顾	(7)
参考文献	(9)
第二章 油藏数值模型	(11)
2.1 模型的选择	(11)
2.2 模型的维数类型	(11)
2.3 模型的相类型	(13)
2.4 模型的用途	(13)
参考文献	(15)
第三章 计算方法	(16)
3.1 离散化方法	(16)
3.2 解非线性代数方程组的牛顿迭代法	(18)
3.3 线性方程组的解法	(22)
参考文献	(30)
第四章 输入数据的准备	(32)
4.1 建立油藏的地质模式	(32)
4.2 网格选择	(32)
4.3 数据准备	(38)
4.4 数据化	(54)
4.5 自动时间步长特征	(54)
4.6 重启特征	(55)
4.7 自由输入格式	(55)
参考文献	(55)
第五章 特殊岩心分析	(57)
5.1 毛细管压力基本概念	(57)
5.2 毛细管压力资料的应用	(58)

5.3	毛细管压力曲线的整理	(61)
5.4	相对渗透率曲线及应用	(63)
参考文献		(67)
第六章 拟函数		(68)
6.1	拟函数概念	(68)
6.2	粘性垂向平衡拟函数	(68)
6.3	动力拟函数	(71)
6.4	井拟函数	(72)
参考文献		(75)
第七章 历史拟合		(77)
7.1	确定模型参数的可调范围	(77)
7.2	模型的数据检查	(78)
7.3	压力拟合	(79)
7.4	饱和度拟合	(81)
7.5	生产指数的拟合	(83)
7.6	历史拟合问题和误区	(83)
参考文献		(86)
第八章 模拟技巧		(88)
8.1	边界条件的处理	(88)
8.2	早期模拟	(89)
8.3	灵敏度影响分析	(92)
8.4	相对渗透率曲线处理	(94)
8.5	实测压力的皮斯曼校正	(96)
8.6	虚拟井、虚拟层处理	(97)
8.7	单井拟合	(98)
8.8	动态预测	(102)
参考文献		(104)
第九章 新区开发方案的数值模拟		(105)
9.1	详细的油藏描述	(105)
9.2	油层参数的敏感性研究	(107)
9.3	新油田开发方案的数值模拟	(109)
参考文献		(110)
第十章 典型模拟		(111)
10.1	单井模拟研究	(111)
10.2	剖面模拟研究	(116)
10.3	三维油藏模拟研究	(123)
参考文献		(130)
第二部分 全组分模型		(131)
第十一章 数值模拟技术新发展——全组分模型		(132)

11.1	历史的回顾	(132)
11.2	油藏描述——三维建模技术的发展	(132)
11.3	油藏模拟技术的进展	(134)
参考文献		(137)
第十二章 工作站网络与数值模拟		(138)
12.1	大型并行计算机	(138)
12.2	工作站及网络系统配置	(139)
12.3	多模型一体化工作站系统	(142)
12.4	软件模型	(143)
参考文献		(150)
第十三章 PVT 流体状态方程模型		(151)
13.1	相态特性基本方程	(151)
13.2	三次状态方程	(152)
13.3	精确性考虑	(153)
13.4	G 方法及逐次替代法	(154)
13.5	多相方程	(157)
参考文献		(159)
第十四章 状态方程全组分模型		(161)
14.1	流动方程	(161)
14.2	差分方程	(162)
14.3	状态方程	(162)
14.4	相平衡计算	(163)
14.5	全隐式组分模型求解方法	(164)
参考文献		(168)
第十五章 PVT 相态模拟		(170)
15.1	PVT 取样条件与样品检验	(170)
15.2	等组分膨胀试验拟合	(172)
15.3	等容衰竭试验拟合	(174)
15.4	差异分离试验拟合	(175)
15.5	多次接触试验拟合	(176)
参考文献		(179)
第十六章 早期模拟		(181)
16.1	PVT 流体组分检验	(181)
16.2	油藏概念设计模拟	(182)
16.3	油藏开采机理模拟	(188)
参考文献		(191)
第十七章 三维地质建模		(192)
17.1	空间地质模型技术	(192)
17.2	3-D 断层处理	(194)

17.3	3-D 储层结构	(194)
17.4	储层油、气、水分布范围确定	(195)
17.5	3-D 地质模型数据体建立	(196)
17.6	图形显示	(197)
参考文献		(198)
第十八章 地质模型网格合并技术		(200)
18.1	数学方程	(200)
18.2	网格数据合并	(202)
18.3	断层描述	(203)
18.4	实际应用	(204)
参考文献		(205)
第十九章 节点分析模拟计算		(206)
19.1	基本原理	(206)
19.2	基本方程	(207)
19.3	节点分析算例	(208)
参考文献		(211)
第二十章 混相驱数值模拟		(212)
20.1	混相理论	(212)
20.2	数学模型	(215)
20.3	混相过程研究	(221)
20.4	细管试验混相特征模拟	(231)
20.5	混相驱替影响因素	(234)
20.6	3-D 井组模型水气交替模拟实例	(240)
参考文献		(242)
第二十一章 注气非混相驱数值模拟		(244)
21.1	近混相理论	(244)
21.2	注气非混相驱替特征模拟	(248)
21.3	注气非混相驱替影响因素	(253)
21.4	水-气交替非混相驱 3-D 模拟开采实例	(258)
参考文献		(258)
第二十二章 循环注气数值模拟		(260)
22.1	凝析气藏衰竭式开采的生产特征	(260)
22.2	循环注气开采的影响因素	(262)
22.3	循环注气 3-D 数值模拟实例	(265)
参考文献		(273)
第二十三章 注 CO₂ 驱数值模拟		(274)
23.1	CO ₂ 驱筛选标准	(274)
23.2	CO ₂ 驱替机理	(276)
23.3	CO ₂ 驱数值模拟实例	(278)

参考文献·····	(279)
第二十四章 注水驱数值模拟·····	(280)
24.1 挥发油油藏水驱油机理模拟·····	(280)
24.2 低渗透裂缝性挥发油油藏注水模拟·····	(286)
24.3 挥发性原油注水开采三维模型模拟实例·····	(289)
参考文献·····	(299)
第二十五章 油藏模拟技术发展趋势·····	(300)
25.1 油藏管理模拟系统·····	(300)
25.2 油藏描述发展趋势·····	(306)
25.3 数值模拟发展趋势·····	(307)
参考文献·····	(308)

第一部分

黑油模型

油藏模型,从数值模拟学科领域可以按油藏特性类型或油藏开采过程特点进行分类。如果按以模拟油藏特性为基础划分模型,通常把油藏模型分为三种类型:气藏模型、黑油模型和组分模型。气藏模型主要是模拟气田开采动态特征,可以是单相也可以是两相,这取决于有无边底水的存在,气藏模型按其组分的贫富可以用黑油数值模型模拟,也可以使用组分类型的数值模型模拟计算,故此气藏模型也可以划进黑油或组分模型。所以油藏模型一般划分为黑油型和组分型两类模型。

“黑油模型”顾名思义是指油质较重性质的油藏类型模型,通常认为在油藏开采过程中相的变化只在油气两相之间进行,如包括气溶于油或气从油中逸出的现象。它可以模拟三维空间油、气、水存在的油气藏系统,将地下复杂的地质空间进行网格差分,数值离散,按其流动特征(相渗曲线、毛管力)、开采方式进行模拟计算,通过使用计算机手段,完成油气藏若干年的开采过程的开发研究工作。一般注水开采的油田都是把黑油模型作为油田开发决策研究的不可缺少手段。

组分模型是指油质较轻、气体较富的油气藏类型,如挥发性油藏(轻质油)或凝析气藏,为其研究适合于油气组分特点的专门模型。这种类型油气藏三液相之间的碳氢组分是在开采过程中变化的,而相间的变化是受热动力影响,这与黑油模型截然不同。

如油藏类型按其油藏结构特点、开采过程特征分类,还可分为裂缝模型、锥进模型、水平井模型、热采模型、化学驱模型、混相驱模型、聚合物驱模型等等。这些模型都是在黑油和组分模型基础上扩展延伸,考虑其有关化学、物理现象所形成的专门类型模型,在本书中不做专门的介绍。

第一章 油藏数值模拟综述

油藏数值模拟技术是随着计算机发展起来,而在石油工业中逐渐成为一门成熟技术。追述油藏数值模拟的发展历史,从 30 年代起开始在石油工业方面实际应用,到 70 年代进入商业化阶段,80 年代油藏数值模拟向完善、配套、大型多功能综合性软件系列飞跃发展。油藏数值模拟已成为油田开发研究、解决油田开发决策问题的强有力的工具,从衡量油田开发效果的好坏,预测投资,对比油田开发方案,评价提高采收率方法等应用极为广泛。

本书将重点讨论油藏数值模拟技术在油田开发中的应用问题,特别是油藏模拟模型都包括哪些油藏模型、种类、特征以及如何使用这些模型。

1.1 油藏数值模拟概念

油藏数值模拟是应用数学模型把实际的油藏动态重现一遍,也就是通过流体力学方程借用大型计算机,计算数学的求解,结合油藏地质学、油藏工程学重现油田开发的实际过程,用来解决油田实际问题。

1.2 数学模型

数学模型就是通过一组方程组,在一定假设条件下,描述油藏真实的物理过程。它不同于物质平衡方程,它考虑了油藏构造形态、断层位置、油砂体分布、油层孔隙度、渗透率、饱和度的变化;流体 PVT 性质的变化;不同岩石类型,不同渗透率曲线驱替特征;井筒垂流计算等等。这组流动方程组由三个方程组成:运动方程、状态方程和连续方程。

1. 运动方程

根据单相水通过多孔介质达西定理的描述为:

$$Q = \frac{KA}{\mu L} \Delta P$$

式中: K ——渗透率 μm^2

A ——截面积 cm^2

μ ——流体粘度 $\text{mPa} \cdot \text{s}$

L ——管子长度 cm

ΔP ——管子两端压差 10^{-1}MPa

多相流时仍符合达西定律。

$$Q_o = \frac{KK_{ro}A}{\mu_o L} \cdot \Delta P$$

$$Q_w = \frac{KK_{rw} \cdot A}{\mu_w \cdot L} \cdot \Delta P$$

式中: K_{ro} 、 K_{rw} ——油相、水相相对渗透率

μ_o ——原油粘度 (mPa·s)

由于油水两相运动产生相互干扰, 引入了相对渗透率。用流体力学表示两相、两维流体通过多孔介质问题。

$$\text{由 } Q_o = \frac{K \cdot K_{ro} \cdot A}{\mu_o \cdot L} \cdot \Delta P$$

产出流速表达式:

$$|V| = \frac{Q_o}{A}$$

$\therefore \frac{\Delta P}{L}$ 为单位距离的压差, 即称为压力梯度。

故

$$V_o = - \frac{KK_{ro}}{\mu_o} \nabla P$$

$$V_w = - \frac{KK_{rw}}{\mu_w} \nabla P$$

∇P 为微分算子

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} i + \frac{\partial}{\partial y} j$$

$$\nabla P = \frac{\partial P}{\partial x} i + \frac{\partial P}{\partial y} j$$

由于 $P_2 - P_1$ 故此 (原 $\Delta P = P_1 - P_2$) 方程右项为负号。

由此产生运动方程:

$$V_o = \frac{-K \cdot K_{ro}(S_w)}{\mu_o} \cdot \nabla P$$

$$V_w = \frac{-K \cdot K_{rw}(S_w)}{\mu_w} \cdot \nabla P$$

2. 连续性方程

是一个微分方程, 研究一个单元之中质量的变化方程。

首先引入散度概念:

即流入单元体中的流体流量减去流出单元体流体流量等于单元体流体质量变化, 为单元体中外界流入的流量的代数和。

$$\nabla (\rho_o h V) = \frac{\sum V_o \Delta x h \rho_o}{\Delta x \cdot \Delta y \cdot h}$$

单元体中流体质量发生变化的速率:

$$\text{油 } \nabla (\rho_o \cdot h \cdot V_o) = -h \frac{\partial (\phi \cdot S_o \cdot \rho_o)}{\partial t}$$

$$\text{水 } \nabla (\rho_w \cdot h \cdot V_w) = -h \frac{\partial (\phi \cdot S_w \cdot \rho_w)}{\partial t}$$

将达西定律代进连续方程得出油、水的两个流动方程。

$$\text{油 } \nabla \left(h = \frac{(K \cdot K_{ro} \rho_o)}{\mu_o} \nabla P \right) = h \frac{\partial (\phi \cdot S_o \cdot \rho_o)}{\partial t}$$

$$\text{水 } \nabla \left(h = \frac{(K \cdot K_{rw} \rho_w)}{\mu_w} \nabla P \right) = h \frac{\partial (\phi \cdot S_w \cdot \rho_w)}{\partial t}$$

3. 状态方程

为求解上述两个方程中的两个未知数 P 、 S_w ，引入状态方程：

$$\text{① } \phi = \phi(P) = \phi_a + C_R \cdot P$$

$$\text{② } h, \mu_o, \mu_w \text{ 为常数}$$

$$\text{③ } \rho_o = \rho_{oi} \cdot C_o (\rho - \rho_i)$$

$$\rho_w = \rho_{wi} \cdot C_w (\rho - \rho_i) \quad \phi, \rho_o, \rho_w \text{ 为压力的函数}$$

$$\text{④ } K_{ro}, K_{rw} \text{ 为 } S_w \text{ 的函数}$$

$$S_o = 1 - S_w$$

将连续性方程右端项常数项展开：

水的方程右端项：

$$\frac{\partial (\phi S_w \rho_w)}{\partial t} = S_w \rho_w \frac{\partial \phi}{\partial t} + \phi \rho_w \frac{\partial S_w}{\partial t} + \phi S_w \frac{\partial \rho_w}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \phi_a \cdot C_r \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\frac{\partial \rho_w}{\partial t} = \rho_{wi} \cdot C_w \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\frac{\partial S_o}{\partial t} = - \frac{\partial S_w}{\partial t} \quad (\because S_o = 1 - S_w)$$

同理油的方程中

$$\frac{\partial \rho_o}{\partial t} = \rho_{oi} \cdot C_o \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t}$$

$$\frac{\partial (\phi S_o \rho_o)}{\partial t} = S_o \rho_o \frac{\partial \phi}{\partial t} + \phi \rho_o \frac{\partial S_o}{\partial t} + \phi S_o \frac{\partial \rho_o}{\partial t}$$

认为 $\rho_o \approx \rho_{oi}$ 接近初始条件

$$\rho_w = \rho_{wi}$$

$$\phi_a = \phi \quad \text{认为变化很小}$$

故由方程：

$$\nabla \left(h \frac{k \cdot k_{ro} \rho_o}{\mu_o} \nabla P \right) = h \frac{\partial (\phi S_o \rho_o)}{\partial t}$$

$$\nabla \left(h \frac{k \cdot k_{ro}}{\mu_o} \nabla P \right) = h \left(S_o \phi_a \rho_o C_r \frac{\partial P}{\partial t} - \phi \rho_o \frac{\partial S_w}{\partial t} + \phi S_o \rho_{oi} \cdot C_o \frac{\partial P}{\partial t} \right)$$

$$\nabla \left(h \frac{k \cdot k_{ro}}{\mu_o} \cdot \nabla P \right) = h S_o (C_r + \phi C_o) \frac{\partial P}{\partial t} - \phi h \frac{\partial S_w}{\partial t} \quad (1)$$

水的方程:

$$\begin{aligned} \rho_w \nabla \left(h \frac{k \cdot k_{rw}(Sw)}{\mu_w} \nabla P \right) &= h \left(S_w \rho_w \cdot C_r \frac{\partial P}{\partial t} + \phi \rho_w \frac{\partial S_w}{\partial t} + \phi S_w \rho_w \cdot C_r \frac{\partial P}{\partial t} \right) \\ \nabla \left(h \frac{k \cdot k_{rw}(Sw)}{\mu_w} \nabla P \right) &= h S_w (C_r + \phi C_o) \frac{\partial P}{\partial t} + \phi h \frac{\partial S_w}{\partial t} \end{aligned} \quad (2)$$

(1) 与 (2) 两个流动方程相加得出压力方程

$$\begin{aligned} \nabla \left[kh \left(\frac{k_{ro}(Sw)}{\mu_o} + \frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w} \right) \nabla P \right] &= h (C_r + S_w C_o \phi + S_o C_o \phi) \frac{\partial P}{\partial t} \\ \therefore C^* &= C_r + S_o C_o \phi + S_w C_o \phi \\ \nabla \left[kh \left(\frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w} + \frac{k_{ro}(Sw)}{\mu_o} \right) \nabla P \right] &= C^* h \frac{\partial P}{\partial t} \end{aligned}$$

饱和度方程:

引入含水百分数函数:

$$\begin{aligned} f_w(Sw) &= \frac{\frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w}}{\frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w} + \frac{k_{ro}(Sw)}{\mu_o}} \\ \frac{k_{rw}}{\mu_w} &= f_w(Sw) \left[\frac{k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k_{ro}}{\mu_o} \right] \end{aligned}$$

用水的方程:

$$\nabla \left[kh f_w(Sw) \left(\frac{k_{ro}}{\mu_o} + \frac{k_{rw}}{\mu_w} \right) \nabla P \right] = \phi h \frac{\partial S_w}{\partial t}$$

计算 S_w 时 P 的变化小忽略了, 故水方程右端项中弹性项 C_w 、 S_w 、 $h \frac{\partial P}{\partial t}$ 比饱和度变化项小的多, 可忽略不计。

最后把两维两相流动方程组写成如下形式:

$$\begin{cases} \nabla [\lambda(Sw) \nabla P] = C^* h \frac{\partial P}{\partial t} \\ \nabla [f(Sw) \lambda(Sw) \nabla P] = \phi h \frac{\partial (S_w)}{\partial t} \end{cases}$$

式中:

$$\begin{aligned} \lambda(Sw) &= kh \left[\frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w} + \frac{k_{ro}(Sw)}{\mu_o} \right] \\ f(Sw) &= \frac{k_{rw}(Sw)}{\frac{k_{rw}(Sw)}{\mu_w} + \frac{\mu_w k_{ro}(Sw)}{\mu_o}} \end{aligned}$$

三维三相方程同理, 再加入气相方程。

把上述解 P 和 S_w 方程用计算数学求解, 写成差分方程, 即把微分方程离散化变成代数形式。

1.3 为什么进行油藏数值模拟

由于研究和开发一个油田是一个复杂的综合性科学技术问题，人们靠经验或利用一些简单的计算公式：物质平衡、马斯盖特方法、巴克雷和D·皮尔逊的前缘推进理论方法、克雷格等注水动态预测都不能解决一个复杂油田的研究问题，即使人们可以辅助以物理模型和小区块的现场实验来进行油田开发科学研究，但这样不可能做太多的和大面积的实践，因为投资大而且时间长。为了减少盲目性，使用油藏数值模拟技术来作严密的科学计算，用数学模型原理再现油藏地下真实动态，可以反复开发多次，求得合理开发油田定性的半定量的解。这样做时间短、花钱少。

1.4 由谁来做油藏模拟

油藏数值模拟是一门综合性很强的科学技术，它涉及的知识领域很广：油田地质学、油层物理学、油藏工程学、采油工程学、数学、计算机系统和油藏数值模拟程序。

要做好一个模拟，需要上述方面专家配合，尤其需要一个能熟练掌握上述领域的有丰富经验的油藏工程专家完成油藏数模工作。

1.5 什么时候开始做模拟

在编制油田开发方案和研究油田开采机理需要答案和结果及一般的常规计算解决不了问题的时候，开始做模拟。

1.6 怎样做模拟

1. 明确油藏工程问题

在模拟工作开始时，根据油田开发问题的提出，进一步具体明确油藏模拟目的和要求。

2 选择油藏模拟器

根据对油藏渗流机理的正确分析，考虑储层岩石性质、油藏流体性质（气、凝析气、挥发油、黑油或稠油）、开采条件、注入流体（水、气、化学剂）等。

3 模拟策略

模拟策略是指既要解决提出的油藏工程问题，又要具体地模型化，大体可分以下几种。

- (1) 全油藏整体模拟；
- (2) 全油藏整体考虑分块模拟；

(3) 面向全油田的典型区块模拟。

采取那种策略,以考虑油藏大小、井数、计算机容量、速度、资料准确度和经费预算等,具体问题具体对待,做到既准而快。

4. 工作量进度

大体根据油藏几何形态大小、单井控制网格多少、粗略估算计算模拟工作量。

计算机时 = (CPU 时间/网格、时间步) × 网格总数 × 时间步数 × 运行次数。

按上述公式可计算历史拟合每次运行花 CPU 时间,按一般拟合 20~30 次计算,一周拟合按 2~3 次计算,大约需 3~4 月时间,而整体模拟还需 0.5 倍时间,比没有历史拟合的模拟需多花 2~3 倍时间(模型的规模为上百口井,一万个网格节点)左右。

5. 经费概算

包括人工费和机时费。

1.7 油藏数值模拟发展回顾

1. 国外数值模拟发展状况

油藏数值模拟在国际上发展,基本上是从 30 年代开始在石油工程方面得到实际应用,当时模拟仅用于预测油藏动态计算,预测采收率 and 对比选择开采方法,经济评价。在 40 年代主要以解析解为主,研究“液体驱替机理”、“理论物理学中的松弛法”、“孔隙介质中均质液体流动”、“油层流动问题中拉普拉斯转换”等零维物质平衡法。在早期所用的电模拟主要是用欧姆定律代替达西定律,将流体在油层内的流动用电流在电阻和电容器连接起来的电路网络中流动现象来表示。根据所得到的压力分布来计算非混相流体界面的移动情况。但这种模型不能反映油层在开采中的复杂机理及大型模拟。

1953 年布鲁斯、皮斯曼等四人发展了将数值方法演变为相对高级的计算机程序,他们导出对非均质孔隙介质中二维和三维瞬间多相渗流的有限差分方程。在 50 年代期间开始数值模型,突出代表著“油层系统中非稳定态流动的实际处理”。

60 年代以 Coats 等人为代表致力于对气、水两相和三相黑油油藏问题的求解,其代表著为《气顶或溶解气驱油藏分析》、《油藏和气藏中三维二相流动模拟》。模拟采油方法基本上限于递减或压力保持,也考虑了重力、粘度和毛管压力的流体流动规律。此阶段主要以黑油模型为主。这一进步取得主要由于大规模高速计算机迅速发展和解大型有限差分工程系统的数值数学方法的发展。

到 70 年代,情况显著改变,由于石油价格的急剧上涨和美国政府取消生产限额,并为油田小型试验方案提供部分资金,使提高采收率方法迅速增加,为此发展了由模拟常规递减和保持压力以外的新方法。单一不相混的两烃组分(油和气)被一种多组分相态,在温度、化学剂影响下的流体的取代,解决了化学吸附、降解、乳化,反映了动力学、热效应以及复杂的平衡相态等问题。产生了锥进模型和组分模型、拟函数技术。此阶段代表著“数值锥进模型”、“油层中组分现象的数值模拟”、“控制数学离差的新拟函数”,在