

国外稠油开采技术译文集第四集

油 藏 模 拟

K. 阿 兹 A. 舍 塔 雷

清 克 译

齐 石 校

新疆石油管理局油田工艺研究所

一 九 八 三 年 六 月

编译出版说明

在研究关于新疆克拉玛依油田稠油注蒸汽开采的物理模拟和数学模拟课题中,我们调研了一些国外发表的有关资料。为了便于更多的同志较快地了解到这方面的情况,作为工作中的借鉴。我们对收集到的资料进行了选择,并拟大致按四方面内容分集刊出:(1)蒸汽驱采油物理模拟研究;(2)蒸汽驱采油数学模拟研究;(3)测量技术;(4)油藏模拟。

《油藏模拟》为这套译文集的第四集。它较系统地阐述了油藏数学模拟的理论和方法。全书由清克翻译、齐石校,参加校订出版工作的还有邢伯涛、武兆俊、郑明重、杨立强同志。沈阳市第十三印刷厂对本书的出版给予了大力协助,特此表示感谢。

由于我们的水平有限,编辑和出版都比较仓促,缺点错误一定很多,敬希读者批评指正。

新疆石油管理局油田工艺研究所
清华大学核能技术研究所

一九八三年六月

(责任编辑·杨立强)

基本符号表

A 格块的横截面面积	$m = \rho \phi$ 单位体积内的质量
B_L 方程 (2.8—2.10) 定义的岩层体积系数	$\dot{m}$ 质量流量。(单位时间单位面积流过的质量。)
$b_L = 1/B_L$ 岩层体积系数的倒数	N 由于引入边界条件而消去一些未知数之后,有限差分格式中的未知数个数
C 任意常数	P_c 毛管力
C 浓度,第十二章	P_{c_o} 多孔介质外面的毛管力值
c 积累系数	$P_{c_o,g}$ 油——气毛管力
c_f 流体压缩系数,方程 (2.37)	$P_{c_o,w}$ 油——水毛管力
c_R 岩层压缩系数,方程 (2.41)	PI 影响函数,方程 (9.52)
$En = \max_i e_i^n $ 误差范数	p 压力 (U, u 也表示压力)
$e_i = U_i - u_i$ 点 i 处近似解的误差	p_b 泡点压力
F_w $P_c(S_w)$ 的反函数	p_L L 相的压力
f 任意函数	p_s 饱和压力
$f_n = \lambda_n / (\lambda_w + \lambda_n)$ 非润湿相的百分比流动系数	p_w 井底压力
$f_w = \lambda_w / (\lambda_w + \lambda_n)$ 润湿相的百分比流动系数	p_{wf} 井底流压
g 重力加速度	QI 影响函数方程 (9.51)
g 重力向量	$Q'_{Lp} = \frac{\partial Q_L}{\partial p}$ 体积流量对压力的导数
g_c 转换常数 = 32.2 磅 (质量) / 磅 (力) · 呎/秒 ²	$Q'_{Lm} = \frac{\partial Q_L}{\partial S_m}$ 体积流量对饱和度的导数
h 网格间距,第三章	Q_{TL} 液体总流量
h 油层厚度,第十二章	Q_T 油总流量
h 标高 (向下为正方向)	Q_{TT} 流体总流量
K_i i 组分的蒸汽相—液相平衡系数 (K 值)	q 汇项 (单位时间产出量); 注入时 q 为负值
k, k_x, y, z 渗透率,或者渗透率张量的分量	$\hat{q}$ 单位体积单位时间的质量排出量,产出时为正,注入时为负
k_{rL} L 相的相对渗透率	q_i 第 i 格块中 q 的近似平均值
$k_{r_o,g}$ 油——气系统中油的相对渗透率	$q_L = \bar{q}_L / \rho_{LSTc}$ 油藏内单位体积单位时间 i 组分的产出体积 (储罐体积)
$k_{r_o,w}$ 油——水系统中油的相对渗透率	R 通用气体常数
L 长度	R(A') v 次迭代的平均收敛速度
M 分子量,第二章	R_i 在 i 点处的局部离散误差
M 网格系统的节点数,第三章	
$M = \lambda_w / \lambda_n$ 流度比	
$M = \mu_o / \mu_n$ 混相流动的流度比,第十二章	

R_o 溶解气——油比

r 空间坐标 (径向距离)

r_e 外半径

r_w 井的半径

S_L L相的饱和度

S_{gc} 临界气体饱和度或者残余气体饱和度, 取决于驱替方向

S_{gc} 液体驱替时的残余气体饱和度, 第十二章

S_{gcr} 临界气体饱和度, 第十二章

S_{gmax} 气相的最大饱和度

S_{nc} 生成过程中非润湿相的临界饱和度或驱替过程中的残余饱和度

S_{wc} 驱替过程中润湿相的临界饱和度或生成过程中的残余饱和度

S_{wmax} 水相的最大饱和度

S_{wo} 与 P_{co} 相对应的 S_{wi} 值

T 温度, 第二章

$T = (\lambda A / \Delta x)$ 有限差分传导率

$T_L = (\lambda_L) \frac{A}{\Delta x}$ 1相的有限差分传导率

t 时间

Δt 时间增量

U 相关变量 (偏微分方程的精确解)

u 表观速度或达西速度

u_i 网格节点 i 处 U 的近似解 (对偏微分方程采用某种近似解法而获得的代数方程的精确解)

u_T 总流速, 在两相流中为 $u_w + u_n$

V 体积

WI 产出系数 (正比于产出指数)

x 距离

x_i 网格节点 i 处的 x 值

y 距离

Z 压缩系数

z 距离

$\alpha = \Delta t / h^2$ 系数

β 湍流系数, 方程 (2.96)

$\beta = \phi \frac{C_f}{B_o} + \phi \frac{C_R}{B}$ 时间导数的系数

Γ 油藏边界

$\gamma = \rho g / g_c$ 依赖于压力/距离的密度

$\Delta \gamma = \gamma_w - \gamma_n$ 密度差

$\lambda = k / (\mu B)$ 传导率

$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_w \lambda_n}{\lambda_w + \lambda_n}$ 平均流度

λ_i 特征值

$\lambda_L = k k_{rL} / (\mu_L B_L)$ L相的传导率

$\lambda_L = k k_{rL} / \mu_L$ L相的流度

λ_{max} 特征值的最大模数

$\lambda_R = k_r / (\mu B)$ 径向传导率

$\lambda_T = k \left(\frac{k_{ro}}{\mu_o} + \frac{k_{rw}}{\mu_w} + \frac{k_{rg}}{\mu_g} \right)$ 总流度

$\lambda X = k_x / (\mu B)$ x 方向传导率

$\lambda y = k_y / (\mu B)$ y 方向传导率

$\lambda Z = k_z / (\mu B)$ z 方向传导率

μ 粘度

v 迭代的阶数

ξ_m 放大因子, 方程 (3.51)

ρ 流体密度

$\rho = 1/r$ 变换后的径向座标, 第三章

$\rho(B)$ 矩阵 B 的谱半径

ρ_L L相的密度

O 近似值的阶

θ 角度

ϕ 孔隙率

$\phi = \int_{p_o}^p \frac{dp}{Y} - z$ 拟势函数

Ψ 似压力, 方程 (2.52)

Ω 油藏边界

ω 混合参数, 第十二章

ω SOR方法中的松弛系数

ω_b SOR方法中, ω 的最佳值

ω_{Li} L相中 i 组分的质量分额

ω_i 混合物中 i 组分的质量分额

运 算 符

- | | |
|---|---|
| A 代数方程组的系数矩阵 | L LU因式分解的下三角矩阵 |
| A 直角坐标中的微分算子 | L 直角坐标中的有限差分算子 |
| B ρ 的系数矩阵, 方程 (3.54) | M 柱坐标系统中的有限差分算子 |
| C 第四类边值问题的系数矩阵 | Q 源向量 |
| C 柱坐标中微分算子 | S 对称三对角矩阵, 第四章 |
| D 积累项矩阵 | T 传导率矩阵 |
| E 主对角线上的元素为 2, 上对角线及下
对角线的元素为-1对称三对角矩阵 | U LU因式分解中的上三角矩阵, 第八章 |
| G 重力项向量 | Δ 差分算子 |
| I 单位矩阵 | Δ^2 二阶空间导数的差分算子 |
| J 雅可比行列式 | Δ_S 座标S上的网格距离($s = x, y, z, r$, 等) |
| | Δ_t 时间导数的差分算子 |

脚 标

- | | |
|-------------------------------|-------------------------------|
| L 组分或相, $L = o, g, w$ (油、气、水) | T 总量 |
| N 相应于最末一个未知数的空间网格节
点指数 | w 润湿相或水相 |
| n 非润湿相 | x, y, z 直角坐标中的方位 |
| RC 油藏条件 | dg 溶解气 |
| R 岩石 | f 流体 |
| r, θ, z 柱坐标中的方位 | f_g 游离态气体 |
| s 溶剂, 第十二章 | i 初始值, 第十二章 |
| sf 油砂表面 | $i \pm \frac{1}{2}$ 含节点i的格块边界 |
| STC 储罐条件或标准状态 | i 网格节点i |
| | J 雅可比矩阵 |

上 标

- | | |
|---------------------------------|--|
| b 后向差分 | 2 共轴的 |
| f 前向差分 | • 中间解或微扰解 |
| L 对数 | $\frac{d}{dx}$ 或 $\frac{\partial}{\partial x}$ |
| n 时阶, $n = 0, 1, 2, 3, \dots$ | $\frac{d^2}{dx^2}$ 或 $\frac{\partial^2}{\partial x^2}$ |
| o_i^* 初始状态 ($t = 0$) 或参考点状态 | $\frac{\partial}{\partial t}$ |
| p 有限差分近似的阶数 | - VE计标的深度平均假想值, 第十二章 |
| r 参考点 | |
| T 矩阵或向量转置 | |

缩 写 符 号

GOR 油气比

SIP 强隐函方法

LSOR 线超松弛方法

SOR 逐次超松弛方法

WOR 油水比

1-D 一维

2-D 二维

3-D 三维

ODE 常微分方程

PDE 偏微分方程

IMPES 隐式压力—显式饱和度

SS 联立求解

IDC 一维修正

2DC 二维修正

PI 产出指数

SEQ 交替求解

VE 垂向平衡

w-n 润湿——非润湿

C-N Crank-Nicolson

D2 排列格式

D4 排列格式

WI 产出系数

序 言

许多热心于理论研究的工程师和从事实际工作的科学工作者及数学家都很想了解如何建立并使用油藏的计算机模型。本书正是为这些工程师和科学工作者而准备的。

尽管在这本书中有很多地方涉及到运用数值方法求解偏微分方程,但是,本书并不是一本专门讲述数值分析的书籍。关于偏微分方程数值解法方面的书已有不少。但它们所涉及的方程大多不能描述油藏中多相流的全部特征。油藏模拟所要求解的方程有一些相当特殊的问题,对这些问题油藏模拟工程师和科学家必须给予充分的考虑。工程问题,物理问题,数学问题常纠缠在一起,只有对这三方面的问题有了透彻的认识之后才有可能指望建立很好的模型。

这本书适合作为工程师短期训练班教材,也适于自学。同时,我们还希望这本书对那些从事于发展和应用模拟技术的工程师和科技工作者来说,是一本参考书。本书中发展起来的许多概念可以直接用于模拟地下水运动。

在我们自己的实践中,我们发现通过编写和调试计算机程序而对理论所获得的深刻认识是没有别的方法能代替的。因此,我们认为,任何涉及油藏模拟的教程中,均应要求读者自己编写某种模拟程序,例如简单的一维单相模型(见第三章),一维两相模型(第五章),二维单相模型(第七章)。这些模型所需的一些基本子程序已列在附录B中。

在内容的描述方面,我们力求以尽可能最简单的格式来介绍每一个概念,同时在数学处理方面又尽可能严谨,从而使其不致变得深奥难懂。必要时,在文中给出了某些数值分析基本概念的扼要讨论,而对于更为详细的内容,则告诉读者去查阅合适的参考文献。在描述有关油藏模拟的内容时,我们努力建立一套前后一致的符号和术语,使之贯彻于各种理论问题和实际问题的整个讨论过程之中。我们并不想确定我们在历史上的优先地位,因为一些概念是同时由许多人发展起来的和由于商业竞争的缘故,一些研究成果并未发表。

本书对黑油型油藏的有限差分模型进行了相当完整的讨论,但是没有包含如下一些课题,例如热采过程的模拟,化学注采,混相驱替(只是在第十二章中有一个简短的讨论)及有限元法在油藏模拟中的应用。这一方面是为了使本书的篇幅限制在合理的范围,另一面也是因为这些领域目前正在迅速发展之中。

K. 阿 兹

A. 舍塔雷

目 录

符号说明.....	(1)
1 引 论.....	(1)
1.1 什么是计算机模型.....	(1)
1.2 其它的模型	(2)
1.3 计算机模型可以解答什么问题	(2)
1.4 结束语	(3)
2 流体流动方程.....	(4)
2.1 引言	(4)
2.2 质量守恒定律 ✓	(4)
2.2.1 单相流	(4)
2.2.2 多相流	(6)
2.3 达西定律	(8)
2.3.1 单相流	(8)
2.3.2 多相流	(9)
2.4 基本流动方程	(9)
2.4.1 单相流	(9)
2.4.2 多相流	(12)
2.4.3 拟势函数的引入	(12)
2.4.4 边界条件	(13)
2.5 多相流动方程的其它形式	(13)
2.5.1 抛物型方程	(13)
2.5.2 双曲型方程	(15)
2.6 考虑了非达西效应的流动方程	(17)
2.6.1 高速流 (惯性力和湍流效应)	(17)
2.6.2 阈值和滑移现象	(18)
2.6.3 非牛顿流动	(19)
2.6.4 其它效应	(19)
2.7 流体和岩石物性	(19)
2.7.1 流体物性	(20)
2.7.2 岩层物性	(20)
2.8 结束语	(28)

练习.....	(28)
3 单相流体的一维流动.....	(31)
3.1 引言	(31)
3.2 有限差分近似	(32)
3.2.1 空间离散	(33)
3.2.2 时间离散	(37)
3.2.3 离散误差	(38)
3.3 可供选择的其它方法	(44)
3.3.1 其它的显式方法	(44)
3.3.2 其它的隐式方法	(45)
3.3.3 ODE 方法	(46)
3.3.4 各种方法的比较	(49)
3.4 网格系统和边界条件	(50)
3.4.1 构成网格的两种方法	(50)
3.4.2 边界条件	(51)
3.5 一维流动方程在直角坐标系中的离散	(55)
3.5.1 不均匀网格的差分方程	(55)
3.5.2 矩阵形式的差分方程	(58)
3.5.3 变系数的处理	(61)
3.6 一维流动方程在柱坐标中的离散	(63)
3.6.1 不均匀网格的差分方程	(64)
3.6.2 矩阵形式的差分方程	(66)
3.6.3 变系数的处理	(67)
3.7 有限差分方程的某些性质	(68)
3.7.1 解的存在性和质量平衡	(68)
3.7.2 非线性的处理	(72)
3.8 结束语	(78)
练习.....	(78)
4 三对角矩阵方程的解法.....	(83)
4.1 引言	(83)
4.2 解法	(84)
4.2.1 Thomas 算法	(84)
4.2.2 Tang 算法	(86)
4.2.3 对称三对角矩阵方程的解法	(87)
4.2.4 无唯一解的特殊情况	(88)
4.2.5 其它特殊情况	(89)
练习.....	(89)
⑤ 多相流体的一维流动.....	(92)

5.1 引言	(92)
5.2 联立求解法 (SS法)	(92)
5.2.1 两相流的SS方法	(93)
5.2.2 SS方法向三相流的推广	(96)
5.2.3 SS方法的其它表述形式	(97)
5.3 隐式压力——显式饱和度方法 (IMPES方法)	(99)
5.3.1 三相流的IMPES方法	(99)
5.3.2 IMPES 方法的其它推导方法	(101)
5.4 SS方法和IMPES 方法的分析	(102)
5.4.1 稳定性	(102)
5.4.2 解的存在性和唯一性	(107)
5.4.3 收敛性	(110)
5.5 非线性的处理	(110)
5.5.1 传导率的权重	(111)
5.5.2 传导率对时间的近似式	(114)
5.5.3 P_c 函数引起的非线性	(123)
5.5.4 气体渗透	(124)
5.6 交替求解方法 (SEQ)	(125)
5.6.1 两相流的SEQ方法	(126)
5.6.2 其它形式及其推导	(129)
5.6.3 数值解结果	(130)
5.6.4 三相流的SEQ方法	(133)
5.6.5 讨论	(135)
5.7 产出项的处理	(135)
5.7.1 边界条件的微分形式	(135)
5.7.2 边界条件的离散化	(138)
练习	(142)
6 分块三对角方程的解法	(148)
6.1 引言	(148)
6.2 求解方法	(149)
6.2.1 Thomas算法的推广	(149)
6.2.2 带状矩阵解法的应用	(150)
7 单相流体的二维流动	(151)
7.1 引言	(151)
7.2 二维问题的分类	(151)
7.2.1 平面问题 ($x-y$)	(151)
7.2.2 剖面问题 ($x-z$)	(152)
7.2.3 单井问题 ($r-z$)	(153)

7.2.4	二维模型的评述	(154)
7.3	流动方程离散化	(154)
7.3.1	差分近似式	(154)
7.3.2	差分格式的稳定性	(157)
7.4	边界条件	(158)
7.4.1	不流动的或封闭的边界	(159)
7.4.2	流动边界	(159)
7.4.3	边界条件的离散化	(160)
7.5	初始条件	(162)
7.6	非线性的处理	(163)
7.7	单井的处理	(163)
7.8	矩阵形式的方程	(167)
7.9	二维问题的特殊方法	(169)
7.9.1	交替方向显式方法 (ADE方法)	(169)
7.9.2	交替方向隐式方法 (ADI方法) 和相关方法	(170)
7.9.3	各种方法的比较	(173)
7.10	网格划分法	(173)
7.10.1	二维不规则网格	(173)
7.10.2	曲线网格的应用	(174)
7.11	结束语	(179)
	练习	(179)
8	五对角矩阵方程的求解方法	(181)
8.1	引言	(181)
8.2	直接解法	(185)
8.2.1	LU分解法	(185)
8.2.2	方程的排列	(188)
8.2.3	稀疏矩阵方法	(188)
8.3	迭代方法	(194)
8.3.1	点雅可比方法	(195)
8.3.2	点高斯-赛德尔法	(197)
8.3.3	点超松弛法 (SOR方法)	(197)
8.3.4	线的和块的SOR方法	(199)
8.3.5	加值修正方法	(199)
8.3.6	交替方向隐式迭代 (ADI) 法	(201)
8.3.7	强隐式方法	(206)
8.3.8	其它的方法	(209)
8.3.9	各种迭代方法的比较	(209)
8.3.10	运用迭代法的实际考虑	(215)

8.4	迭代法和直接解法的比较	(219)
8.5	结束语	(221)
	练习	(221)
9	多相流体的二维流动	(226)
9.1	引言	(226)
9.2	二维问题的分类	(226)
9.2.1	平面问题 ($x-y$)	(226)
9.2.2	剖面问题 ($x-z$)	(227)
9.2.3	单井问题 ($r-z$)	(228)
9.2.4	总的评述	(228)
9.3	求解方法及其比较	(229)
9.3.1	二维离散化	(229)
9.3.2	二维问题中SS方法和IMPES方法的稳定性	(231)
9.3.3	不同解法及其对计算机要求的比较	(233)
9.4	边界条件	(236)
9.4.1	差分公式	(236)
9.4.2	相容性条件和约束	(237)
9.4.3	有限差分公式	(238)
9.5	初始条件	(240)
9.6	含水层的模拟	(242)
9.7	平面和剖面问题的模拟计算	(244)
9.7.1	曲线网格的应用	(244)
9.7.2	单个井的处理	(245)
9.7.3	网格取向现象	(247)
9.8	单井问题的模拟	(250)
9.8.1	产出项的处理 (井的模型)	(250)
9.8.2	传导率的不同处理方法的稳定性和效率比较	(254)
9.8.3	实践中的问题	(257)
9.9	结束语	(258)
	练习	(258)
10	分块五对角方程的解	(259)
10.1	引言	(259)
10.2	直接解法	(260)
10.3	迭代方法	(260)
10.3.1	BSOR 方法	(260)
10.3.2	ADI迭代法	(261)
10.3.3	SIP 方法	(261)
10.3.4	各种迭代方法的比较	(262)

10.4	迭代方法和直接解法的比较	(262)
10.5	结束语	(262)
	练习	(262)
11	三维问题及其求解方法	(264)
11.1	引言	(264)
11.2	单相流	(264)
11.2.1	基本方程及其离散化	(264)
11.2.2	三维问题的特殊解法	(265)
11.2.3	直接解法	(267)
11.2.4	迭代法	(268)
11.2.5	各种方法的比较	(273)
11.3	多相流	(274)
11.3.1	基本解法和它们需要的运算量	(274)
11.3.2	矩阵方程的解法	(275)
11.4	结束语	(276)
	练习	(276)
12	专题	(278)
12.1	引言	(278)
12.2	拟函数	(278)
12.2.1	Coats等人 (1971a) 提出的垂向平衡模型	(278)
12.2.2	其它的拟函数	(281)
12.3	流管及其有关模型	(282)
12.4	可变泡点问题的模拟	(283)
12.5	非黑油模型系统的模拟	(287)
12.5.1	混相驱替的模拟	(288)
12.5.2	多组份效应的模拟	(290)
12.6	饱和度与时间的函数关系	(291)
12.6.1	滞后现象的物理模型	(291)
12.6.2	滞后现象的数值处理	(293)
12.7	天然裂缝油藏的模拟	(295)
12.8	时间步长的自动控制	(296)
12.9	结束语	(297)
	练习	(297)
13	实际问题的处理	(299)
13.1	编写程序	(299)
13.1.1	建立数学模型	(299)
13.1.2	建立数值模型	(300)
13.1.3	建立计算机模型 (编写程序)	(300)

13·2 程序的用途.....	(303)
13·2·1 模拟研究工作的步骤.....	(304)
13·2·2 模型的选择和设计.....	(305)
13·2·3 历史拟合.....	(307)
13·3 结束语.....	(309)
附录A	(310)
附录B	(318)
文献目录.....	(331)

第一章 引 论

1.1 什么是计算机模型

油藏研究的主要目的是预测油藏未来的动态特性,并找出提高最终采收率的方法和手段。经典油藏工程是在一种比较粗略的平均值概念的基础上(储罐模型的基础上)来研究油藏的,它不能恰当地考虑油藏参数和流体参数随时间的变化和沿空间的分布。用计算机进行油藏模拟是把油藏分成许多格块(有时多达数千块)并对每一个格块运用多孔介质中的基本流动方程。这使得我们能对油藏进行更为详尽的研究。所谓计算机模型就是这样一套数值计算机程序,它能够执行油藏模型研究所必需的全部计算任务。自从五十年代早期以来,在计算机硬件及软件技术方面已取得了很大的发展,因此现在有可能编写出相当高级的模型程序来模拟采油过程中油藏内发生的十分复杂的过程。油藏模拟技术正在不断地完善和加强。模拟越来越复杂的采油方案的新模型正在不断地涌现出来,在这本书中,我们讨论在所有油藏模型中最基本的模型,即所谓黑油模型或叫做 β -模型。要对更为复杂的模型建立某种认识,就必须对黑油模型中所使用的方法有透彻的了解。在关于计算机模型的叙述中,下面一些术语几乎是可以互相通用的:数学模型,数值模型,数值模拟程序,网格模型,有限差分模型,油藏模拟程序等。实际上,在建立一套程序来进行油藏模拟时,有三种模型需要建立:

1.1.1 数学模型

被模拟的物理系统必须用一些适当的数学方程来描写。在这个过程中,总是要引入一些假设。从实践的观点来看为了使问题易于处理,这些假设是必要的。例如,每一个油藏工程师都知道相对渗透率的概念是有其局限性的。但是,在没有其它可行的方法时,我们没有什么别的选择,只好使用相对渗透率这个概念。在第二章中介绍了数学模型的方程式,它是一套具有相应初始条件和边界条件的偏微分方程组。

1.1.2 数值模型

构成油藏数学模型的方程组往往十分复杂,以致不可能用解析方法求解。因此必须做一些近似处理,把这些方程组变成适于用数字计算机求解的形式。这样一系列方程组就构成了数值模型。这方面的内容将在第三章到第十二章内讲述。

1.1.3 计算机模型

为求解数值模型的方程组而编写的一个计算机程序或一套计算机程序叫油藏的计算机模型。关于计算机模型的一些实际问题将在第十三章中加以讨论。在本书中,我们把应用计算机模型来解决实际问题的工作叫做油藏模拟。

1.2 其它的模型

石油工程师们一直使用着许多种不同的模型。它们可以分成两大类：(a)模拟模型，(b)物理模型。最常见的模拟模型是电模拟模型，在这种模型里，电位和电流作为模拟变量。Bruce和Karplus分别于1943年和1956年把模拟有限差分方程的不连续电模拟模型(R-C和R-R网格)用于油藏问题。1946年Botset论述了电解式连续模型。以上这些模型和其它一些模拟计算机方法的详细论述可以查阅Karplus 1958年的著作。但是这些模拟方法至今已完全被计算机模型取代了。

关于物理模型的文献是非常丰富的(例如Rapoport, 1955; Geertsma等人, 1956; Perkins和Collins, 1960; Redford等人, 1976的文献)，这些物理模型在认识油藏特性方面起了很重要的作用。物理模型可以分为两大类(按1976年Redford的分类)：(a)比例模型，(b)元体模型。在比例模型中，油藏的尺寸大小，流体及岩石的物性都按比例换算成实验室模型。因此，油藏和物理模型中各种作用力的比值是相同的。比例模型能提供可直接用于油田的研究结果。但是，完全的比例模拟在建造模型时是很困难的，甚至是不可能的(Geertsma等人, 1956; Pozzi和Blackwell, 1963)。

在元体模型中，实验是用真实的(或模拟的)油藏岩石和流体来进行的。显然在这种模型上的实验观察结果不能直接应用于油田。但是，它们有助于解答有关油藏机理的一些基本问题。

在数学模型中描述油藏内流体流动的那些基本流动方程对于比例模型和元体模型仍然是有效的。这意味着，一个计算机模型可以用物理模型的结果来加以证实和调整。然后这个计算机模型就可以直接用来预测油田的动态特性。因此，很好地认识一个复杂的油藏现象可能需要明智地运用物理模型和计算机模型。应当明白，计算机模型不能取消对物理模型的需求。因为计算机模型不能用来确定油藏问题的物理内容。另一方面，在很多情况下只有通过计算机模型才能最好地应用物理模型所得到的数据。总而言之，可以说油藏的计算机模型不可能完全代替物理模型。但是计算机模型可以加深对物理模型所获得的数据的认识并且可以帮助设计在物理模型上进行的实验。

1.3 计算机模型可以解答什么问题？

计算机模型对于想解决下述问题的石油工程师是很有价值的工具：

- 1、为了实现油藏最大限度的经济开采，应当怎样来开发油田，并且应当怎样进行生产？
- 2、什么是油藏的最佳采油方案？它应当怎样实施？何时实施？
- 3、为什么油藏没有原来油藏工程或模拟研究所预测的那种特性？
- 4、油田的最终经济采收率是多少？
- 5、需要什么类型的实验室数据？模型预测值对各种数据的敏感性如何？

6、需要进行油藏的物理模型研究吗？模型试验的结果怎样按比例放大以适于油田应用？

7、采油方案在油田应用中应当测量哪些关键的参数。

8、油藏中油井的最佳完井方案是什么？

9、下一步的生产应在油藏的什么地方进行？

以上是一些一般性的问题。人们在进行某一特殊的模拟研究时可能还有更多的特殊问题需要解答。在进行任何模拟研究中，明确研究的目标，并且仔细地拟定需要解答的问题是一个很重要的步骤。

1·4 结 束 语

油藏模拟是能使石油工程师对采油机理获得更多见识的一种工具。它比任何其它可能获得的工具更为有效。如果使用得当，它可能是一个很有价值的工具。但是，它不能代替整个油藏研究中十分重要的工程判断（见1969年Coats和1971年Staggs及Herbeck文献）。此外，并不是所有的油藏都需要很复杂的模型研究。在很多情况下，常规的油藏研究或者极简单的计算机模型研究就可以解决所提出来的问题。用计算机模型算出许多数据来是很容易的。在很多情况下，要正确地整理这些数据却需要懂得数学模型，数值模型及计算机模型的人来做出仔细的分析。本书的目的正是为认识这些模型提供基础知识。