



**QINGBAO**

# 蒸汽驱采油 数学模拟研究

新疆石油管理局油田工艺研究所

14767

国外稠油开采技术译文集第三集

# 蒸汽驱采油 数学模拟研究



新疆石油管理局油田工艺研究所

一九八三年七月

国外稠油开采技术  
译文集  
第二集  
蒸汽驱采油  
数学模拟研究

编 译：油田工艺研究所情报室  
清华大学核能技术研究所  
编辑出版：油田工艺研究所情报室  
地 址：新疆克拉玛依市  
印 刷：沈阳市第十三印刷厂

印数—3000

1983.8

## 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。

《蒸汽驱采油数学模拟研究》为这套译文集的第二集。所选的二十四篇论文是热采数学模拟方面比较有价值、有用处的文章。它侧重于实用中的一些专门问题、工程问题的处理方法、数据、图表等等，对我们的汽驱及单井吞吐的数学模拟研究工作较有帮助。

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。

参加本集校订出版工作的还有武兆俊、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。

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

一九八三年七月

（本集编辑：杨立强）

# 目 录

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| 1. 高隐蒸汽驱油模型.....        | ( 1 )  |
| 摘要.....                 | ( 1 )  |
| 引言.....                 | ( 1 )  |
| 模型描述.....               | ( 2 )  |
| 基本方程.....               | ( 2 )  |
| 压力、比容、温度以及相对渗透性的处理..... | ( 2 )  |
| 方程等号左侧的推导.....          | ( 3 )  |
| 流项的隐式处理.....            | ( 4 )  |
| 生产项的隐式处理.....           | ( 6 )  |
| 方程的解法.....              | ( 7 )  |
| 计算工作比较.....             | ( 8 )  |
| 两个油藏问题上模型的比较.....       | ( 10 ) |
| 替代的蒸汽驱油模型数学处理方法.....    | ( 17 ) |
| 小结.....                 | ( 27 ) |
| 附录.....                 | ( 30 ) |
| 2. 考虑蒸馏和气体溶解的汽驱模拟.....  | ( 31 ) |
| 摘要.....                 | ( 31 ) |
| 绪言.....                 | ( 31 ) |
| 模型描述.....               | ( 32 ) |
| 压力方程.....               | ( 34 ) |
| 饱和度方程.....              | ( 35 ) |
| 隐式的生产率.....             | ( 37 ) |
| 相对渗透率的处理.....           | ( 38 ) |
| 模型结果.....               | ( 40 ) |
| WILLMAN 实验数据.....       | ( 40 ) |
| 试验问题.....               | ( 41 ) |
| 敏感性分析.....              | ( 45 ) |
| 蒸汽注入试验.....             | ( 46 ) |
| 结论.....                 | ( 48 ) |
| 3. 蒸汽驱三维数值模拟.....       | ( 53 ) |
| 摘要.....                 | ( 53 ) |
| 引言.....                 | ( 53 ) |
| 对过去的研究工作的回顾.....        | ( 54 ) |
| 模型的描述.....              | ( 54 ) |
| 解法.....                 | ( 55 ) |

|                        |         |
|------------------------|---------|
| 产量项的隐式处理.....          | ( 58 )  |
| 传导率和毛管力的隐式处理.....      | ( 59 )  |
| 网络取向的影响.....           | ( 60 )  |
| 模型的计算结果.....           | ( 61 )  |
| WILLMAN 等人的实验数据 .....  | ( 61 )  |
| SHUTLER 的三维实验数据 .....  | ( 63 )  |
| 实验室试验数据.....           | ( 64 )  |
| 典型的油田规模汽驱模拟.....       | ( 65 )  |
| 蒸汽吞吐的例子.....           | ( 65 )  |
| 油藏压力的影响.....           | ( 66 )  |
| 模型需要的计算时间.....         | ( 67 )  |
| 讨论和结论.....             | ( 67 )  |
| 附录: 热损失的计算.....        | ( 86 )  |
| 4. 循环注蒸汽工艺的动态程序模拟..... | ( 89 )  |
| 引言.....                | ( 89 )  |
| 产油量响应模型.....           | ( 89 )  |
| 焖井期压力演变.....           | ( 91 )  |
| 瞬态流动模型.....            | ( 91 )  |
| 动态程序模型.....            | ( 92 )  |
| 术语的定义.....             | ( 93 )  |
| 动态程序模型的导出.....         | ( 94 )  |
| 计算情况.....              | ( 96 )  |
| 结果.....                | ( 97 )  |
| 油田数据的匹配.....           | ( 97 )  |
| 动态程序模型的初步研究.....       | ( 97 )  |
| 最佳工艺操作方案.....          | ( 98 )  |
| 最佳开发方案与报道的开发方案的比较..... | ( 98 )  |
| 一个进一步研究的方向.....        | ( 98 )  |
| 结论.....                | ( 99 )  |
| 附录A: 稳态产量方程的推导.....    | ( 104 ) |
| 井筒热损失.....             | ( 104 ) |
| 加热半径.....              | ( 105 ) |
| 加热区域的温度演变.....         | ( 105 ) |
| 稳定状态产油指数近似表达式.....     | ( 106 ) |
| 产油速率的确定.....           | ( 106 ) |
| 对后续循环性能的估算.....        | ( 107 ) |
| 附录B: 焖渗期方程的推导.....     | ( 107 ) |
| 焖渗期加热区域温度演变.....       | ( 107 ) |
| 油藏的压力演变.....           | ( 107 ) |

|                                |         |
|--------------------------------|---------|
| 附录C: 关于瞬态产量方程的推导.....          | ( 108 ) |
| 5. 水和气锥进问题的数值模拟方法.....         | ( 115 ) |
| 摘要.....                        | ( 115 ) |
| 引言.....                        | ( 115 ) |
| 锥进问题.....                      | ( 116 ) |
| 三个锥进模型的一般描述.....               | ( 117 ) |
| 模型 1 ——隐式产量方法.....             | ( 117 ) |
| 模型 2 ——隐式产量项和传导率方法.....        | ( 117 ) |
| 模型 3 ——全隐式方法.....              | ( 117 ) |
| 三个模型的对比.....                   | ( 118 ) |
| 锥进问题研究实例.....                  | ( 118 ) |
| 例 1 ——水—油模型 1、模型 2 和模型 3 ..... | ( 118 ) |
| 例 2 ——三相, 模型 2 .....           | ( 119 ) |
| 例 3 ——物理模型试验数据, 模型 2 .....     | ( 120 ) |
| 模型 1 和模型 2 的描述.....            | ( 120 ) |
| 模型 1 .....                     | ( 122 ) |
| 模型 2 .....                     | ( 123 ) |
| 模型 3 的简要说明.....                | ( 124 ) |
| 截断误差.....                      | ( 124 ) |
| ADI 方法和高斯消元法的比较.....           | ( 125 ) |
| 结论.....                        | ( 126 ) |
| 6. 蒸汽驱的实验研究和数值模拟研究.....        | ( 135 ) |
| 摘要.....                        | ( 135 ) |
| 引言.....                        | ( 135 ) |
| 线性物理模型.....                    | ( 135 ) |
| 模型的微分方程.....                   | ( 136 ) |
| 流体流动方程.....                    | ( 136 ) |
| 热流动方程.....                     | ( 137 ) |
| 计算机程序的说明.....                  | ( 138 ) |
| 线性数值模型.....                    | ( 138 ) |
| 两维数值模型.....                    | ( 138 ) |
| 与试验结果对比.....                   | ( 139 ) |
| 线性模型的对比.....                   | ( 139 ) |
| 二维模型的对比.....                   | ( 140 ) |
| 讨论.....                        | ( 140 ) |
| 关于毛管力.....                     | ( 140 ) |
| 关于相对渗透率.....                   | ( 140 ) |
| 关于油的粘度.....                    | ( 140 ) |
| 附录A: 热损失的计算.....               | ( 144 ) |

|                         |       |
|-------------------------|-------|
| 物理模型的热损失计算.....         | (144) |
| 油田情况下热损失的计算.....        | (144) |
| 附录B: 有限差分公式.....        | (146) |
| 附录C: IMPES 方法的应用.....   | (147) |
| 附录D: 蒸汽凝结速度.....        | (148) |
| 不含自由蒸汽的格块.....          | (148) |
| 含自由蒸汽的格块.....           | (149) |
| 附录E: 模拟计算用的参数.....      | (149) |
| 7. 蒸汽驱油过程的一维三相数值模拟..... | (160) |
| 摘要.....                 | (160) |
| 引言.....                 | (160) |
| 蒸汽驱油问题的数学描述.....        | (161) |
| 流体流动.....               | (161) |
| 热传输.....                | (161) |
| 气体组分.....               | (162) |
| 数值方法.....               | (162) |
| 计算结果选载.....             | (163) |
| 与实验结果的比较.....           | (163) |
| 与其它方法的比较.....           | (164) |
| 蒸汽带.....                | (164) |
| 油带的形成.....              | (165) |
| 计算要求.....               | (166) |
| 栅格布置的影响.....            | (166) |
| 时间步长控制的影响.....          | (166) |
| 运行时间.....               | (166) |
| 结论.....                 | (167) |
| 附录A: 三相相对渗透率和毛细压力.....  | (170) |
| 附录B: 质量平衡式的求解.....      | (171) |
| 附录C: 能量平衡式的求解.....      | (173) |
| 附录D: 组分平衡式的求解.....      | (174) |
| 附录E: 冷凝项.....           | (175) |
| 一般推导.....               | (175) |
| 附录F.....                | (178) |
| 8. 蒸汽驱油过程的二维三相数值模拟..... | (185) |
| 摘要.....                 | (185) |
| 引言.....                 | (185) |
| 蒸汽驱油过程的数学描述.....        | (185) |
| 热传输.....                | (186) |
| 数值方法.....               | (187) |

|                                     |       |
|-------------------------------------|-------|
| 计算结果选载.....                         | (188) |
| 与实验结果的比较.....                       | (188) |
| 与一维计算的比较.....                       | (190) |
| 毛细压力的重要性.....                       | (191) |
| 垂直流体流动的重要性.....                     | (192) |
| 计算要求.....                           | (193) |
| 结论.....                             | (193) |
| 附录A: 质量平衡式的求解.....                  | (195) |
| 附录B: 能量平衡式的求解.....                  | (197) |
| 附录C: 组分平衡式的求解.....                  | (198) |
| 附录D: 冷凝项.....                       | (199) |
| 附录E: 计算数据.....                      | (200) |
| 9. 预测蒸汽驱油采收率的一维分析方法.....            | (203) |
| 摘要.....                             | (203) |
| 引言.....                             | (203) |
| 温度阶跃的速度.....                        | (204) |
| 流体流动.....                           | (205) |
| 方案I——蒸汽区内两相流动的非迭代求解情况.....          | (205) |
| 方案II——将蒸汽区的处理加以改进的迭代求解情况.....       | (206) |
| 方案III——方案II的改进, 即逐次修正蒸汽区份额流动曲线..... | (208) |
| 冷区内流体流动的处理.....                     | (208) |
| 原油采收率.....                          | (210) |
| 结果.....                             | (211) |
| 原油采收率, 最初出现的活动水.....                | (211) |
| 饱和度分布曲线.....                        | (212) |
| 结论.....                             | (212) |
| 附录A: 阶跃方程的推导.....                   | (214) |
| 附录B: 蒸汽区平均速度 $\bar{u}_v$ 的推导.....   | (215) |
| 10. 热采过程的数值模拟.....                  | (217) |
| 摘要.....                             | (217) |
| 序言.....                             | (217) |
| 对以前工作的回顾.....                       | (218) |
| 模型的特点.....                          | (218) |
| 数学推导.....                           | (219) |
| 基本方程.....                           | (219) |
| 有限差分方程.....                         | (220) |
| 相约束.....                            | (222) |
| 求解方法.....                           | (222) |
| 饱和度方程.....                          | (223) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 模型的评价.....                | (224) |
| LAUWERIER试验.....          | (224) |
| WILLMAN等人的实验室实验.....      | (226) |
| 一个高产油井的蒸汽吞吐响应.....        | (228) |
| 一个低产油井的吞吐响应.....          | (230) |
| 冷水驱动热油藏.....              | (232) |
| 模型的计算时间.....              | (233) |
| 对其他系统的推广.....             | (234) |
| 结论.....                   | (234) |
| 附录: 凝结项的计算.....           | (236) |
| 11. 油层和盖层间热耦合的半解析方法.....  | (241) |
| 摘要.....                   | (241) |
| 引言.....                   | (241) |
| 原理.....                   | (241) |
| 基本方程和边界条件.....            | (241) |
| 温度函数.....                 | (242) |
| 变分积分和欧拉方程.....            | (243) |
| n的计算.....                 | (243) |
| 解析法求解.....                | (244) |
| 方法的评价.....                | (245) |
| 试验系统的描述.....              | (245) |
| 结果.....                   | (245) |
| 应用.....                   | (250) |
| 结论.....                   | (250) |
| 附录: 误差补余函数的累积分.....       | (252) |
| 欧拉方程的推导.....              | (252) |
| 12. 油藏数值模拟中油井格块压力的阐述..... | (257) |
| 摘要.....                   | (257) |
| 引言.....                   | (257) |
| 井格块的等效半径.....             | (259) |
| 井格块等效半径计算.....            | (259) |
| 等效半径的近似计算.....            | (260) |
| 等效半径的精确计算.....            | (261) |
| 扩展到非稳态.....               | (261) |
| 扩展到气相流动.....              | (263) |
| 恢复压力的数据和模拟结果的比较.....      | (263) |
| 单点恢复压力的应用.....            | (265) |
| 讨论.....                   | (266) |
| 结论.....                   | (266) |

|                                        |         |
|----------------------------------------|---------|
| 附录A: 五点井网数值解.....                      | ( 268 ) |
| 附录B: 非稳态等效半径数值计算.....                  | ( 269 ) |
| 附录C: 拟稳态等效半径近似计算.....                  | ( 270 ) |
| 附录D: 推导探测半径与关井时间的函数关系.....             | ( 271 ) |
| 利用Ei函数.....                            | ( 271 ) |
| 利用贝塞尔级数.....                           | ( 272 ) |
| 有效范围.....                              | ( 274 ) |
| 附录E: 和 Van PoolLen 等人的数据作进一步比较.....    | ( 274 ) |
| 13. 原油的高温高压蒸汽蒸馏的模拟.....                | ( 276 ) |
| 摘要.....                                | ( 276 ) |
| 引言.....                                | ( 276 ) |
| 在高温高压下的蒸汽蒸馏.....                       | ( 278 ) |
| 培格——罗宾逊 (Peng—Robinson) 状态方程.....      | ( 279 ) |
| 原油的特性与假设的组分.....                       | ( 279 ) |
| 数值模拟.....                              | ( 283 ) |
| 模型的验证.....                             | ( 283 ) |
| 蒸汽蒸馏的理论曲线.....                         | ( 284 ) |
| 实验蒸馏曲线的对比.....                         | ( 288 ) |
| 组分蒸汽驱动模拟与状态方程.....                     | ( 291 ) |
| 平衡油藏.....                              | ( 291 ) |
| 不平衡油藏.....                             | ( 292 ) |
| 结论.....                                | ( 292 ) |
| 14. 通过蒸馏和重力作用影响的蒸汽驱动来预测原油采收率的一种方法..... | ( 294 ) |
| 摘要.....                                | ( 294 ) |
| 前言.....                                | ( 294 ) |
| 蒸汽区和热凝结区增长的方程式.....                    | ( 295 ) |
| 总体热平衡.....                             | ( 295 ) |
| 蒸汽——液体的界面.....                         | ( 296 ) |
| 蒸汽区的热平衡.....                           | ( 296 ) |
| 求解的方法.....                             | ( 297 ) |
| 总加热区.....                              | ( 298 ) |
| 总的热损率.....                             | ( 299 ) |
| 蒸汽区.....                               | ( 299 ) |
| 热凝结区的温度分布.....                         | ( 300 ) |
| 注入热量变化的情况.....                         | ( 301 ) |
| 蒸汽蒸馏.....                              | ( 301 ) |
| 理论及方程式.....                            | ( 301 ) |
| 压力与温度的关系.....                          | ( 301 ) |

|                                   |         |
|-----------------------------------|---------|
| 局部的质量平衡.....                      | ( 302 ) |
| 局部焓平衡.....                        | ( 303 ) |
| 不同组分的蒸发.....                      | ( 303 ) |
| 求解方法.....                         | ( 304 ) |
| 蒸汽压的变化.....                       | ( 304 ) |
| 水的溶解度的变化.....                     | ( 304 ) |
| 解的讨论.....                         | ( 304 ) |
| 蒸汽蒸馏效率的估计.....                    | ( 305 ) |
| 对蒸汽蒸馏的蒸汽效率.....                   | ( 306 ) |
| 对 $S_1^*$ 和 $S_2^*$ 的估计.....      | ( 306 ) |
| 流体的流动.....                        | ( 308 ) |
| 蒸汽区.....                          | ( 308 ) |
| 蒸汽前缘.....                         | ( 309 ) |
| 热凝结区和初始温度区.....                   | ( 309 ) |
| 压力降.....                          | ( 310 ) |
| 总的计算方案.....                       | ( 312 ) |
| 结果和讨论.....                        | ( 312 ) |
| 原油的蒸汽蒸馏.....                      | ( 312 ) |
| 原油的蒸汽驱动.....                      | ( 313 ) |
| 计算要求.....                         | ( 313 ) |
| 结论.....                           | ( 314 ) |
| 附录A: 蒸汽—液体界面方程.....               | ( 319 ) |
| 附录B: 总的热平衡方程的拉普拉斯变换解.....         | ( 320 ) |
| 附录C: 水的蒸汽压和溶解度变化的方程.....          | ( 320 ) |
| 蒸汽压的变化.....                       | ( 320 ) |
| 水的溶解度的变化.....                     | ( 321 ) |
| 附录D: 在 $\Delta V$ 中蒸汽蒸馏方程的变化..... | ( 321 ) |
| 附录E: 对系数 $A_0$ 和 $B_0$ 的估算方法..... | ( 322 ) |
| 附录F: 对 $S_1^*$ 和 $S_2^*$ 的方程..... | ( 322 ) |
| 15. 有限元方法用于多孔介质的瞬态流动计算.....       | ( 323 ) |
| 摘要.....                           | ( 323 ) |
| 引言.....                           | ( 323 ) |
| 原理.....                           | ( 324 ) |
| 径向为无限系统一边界为常量流速下的流动问题.....        | ( 328 ) |
| 在径向有界系统一边界常量流率条件下的流动问题.....       | ( 330 ) |
| 在径向分层系统一常量边界压力下的流动问题.....         | ( 330 ) |
| 径向分层系统一常量边界流率条件下的流动问题.....        | ( 331 ) |
| 结果讨论.....                         | ( 332 ) |

|                         |         |
|-------------------------|---------|
| 结论.....                 | ( 334 ) |
| 附录.....                 | ( 335 ) |
| 16. 计算三相相对渗透率的统计模型..... | ( 339 ) |
| 摘要.....                 | ( 339 ) |
| 序言.....                 | ( 339 ) |
| 三相相对渗透率数据的计算.....       | ( 339 ) |
| 所要求的数据.....             | ( 339 ) |
| 方程.....                 | ( 340 ) |
| 物理模型—微观流体分布.....        | ( 341 ) |
| 沟道流动理论.....             | ( 341 ) |
| 假设的基础.....              | ( 341 ) |
| 方法和统计概念的关系.....         | ( 341 ) |
| 统计方法的实验数据验证.....        | ( 342 ) |
| Corey 等人的数据.....        | ( 342 ) |
| Dalton 等人的数据.....       | ( 344 ) |
| Saraf 数据.....           | ( 345 ) |
| 17. 在预热油藏中蒸汽区增长.....    | ( 349 ) |
| 摘要.....                 | ( 349 ) |
| 引言.....                 | ( 349 ) |
| 理论.....                 | ( 349 ) |
| 有限和非零厚度的蒸汽区层.....       | ( 350 ) |
| 零厚度的蒸汽区层.....           | ( 352 ) |
| 应用.....                 | ( 355 ) |
| 结论.....                 | ( 358 ) |
| 附录A：注汽计算中所用的温度分布.....   | ( 360 ) |
| 附录B：方程 (15) 的反变换.....   | ( 362 ) |
| 18. 蒸汽吞吐的理论分析.....      | ( 363 ) |
| 摘要.....                 | ( 363 ) |
| 引言.....                 | ( 363 ) |
| 讨论.....                 | ( 363 ) |
| 注汽.....                 | ( 363 ) |
| 焖井.....                 | ( 364 ) |
| 采油.....                 | ( 364 ) |
| 热流和流体流动方程.....          | ( 364 ) |
| 方程的解.....               | ( 365 ) |
| 产汽.....                 | ( 366 ) |
| 油水比.....                | ( 366 ) |
| 油层污染.....               | ( 366 ) |

|                            |         |
|----------------------------|---------|
| 注入的热量.....                 | ( 366 ) |
| 油层厚度.....                  | ( 367 ) |
| 其它影响.....                  | ( 367 ) |
| 结论.....                    | ( 367 ) |
| 附录A：理想化的无导热模型.....         | ( 374 ) |
| 附录B：不焖井.....               | ( 375 ) |
| 中等压力降和大压力降的焖井.....         | ( 375 ) |
| 附录C.....                   | ( 375 ) |
| 附录D.....                   | ( 376 ) |
| 19. 在大气压力下脱气油的粘度—温度关系..... | ( 379 ) |
| 摘要.....                    | ( 379 ) |
| 引言.....                    | ( 379 ) |
| 方法.....                    | ( 380 ) |
| 关系式的使用.....                | ( 380 ) |
| 关系式的评价.....                | ( 381 ) |
| 结论.....                    | ( 381 ) |
| 20. 蒸汽注入时的井筒热损失和压力降.....   | ( 385 ) |
| 引言.....                    | ( 385 ) |
| 模型的公式.....                 | ( 385 ) |
| 计算结果.....                  | ( 387 ) |
| 油管尺寸的影响.....               | ( 388 ) |
| 蒸汽注入压力、注入流率和注入时间的影响.....   | ( 388 ) |
| 涂层和油管绝热的影响.....            | ( 389 ) |
| 与以前模型的对比.....              | ( 390 ) |
| 和油田数据比较.....               | ( 391 ) |
| 结论.....                    | ( 392 ) |
| 21. 蒸汽注入井筒期间的热损失.....      | ( 394 ) |
| 概述.....                    | ( 394 ) |
| 引言.....                    | ( 394 ) |
| 理论.....                    | ( 394 ) |
| 冷凝蒸汽的干度.....               | ( 364 ) |
| 冷却过程蒸汽的温度.....             | ( 395 ) |
| 时间函数 $f(t)$ .....          | ( 396 ) |
| 井筒热阻.....                  | ( 396 ) |
| 热损失百分比的计算.....             | ( 397 ) |
| 计算过程.....                  | ( 397 ) |
| 结果和讨论.....                 | ( 398 ) |
| 影响热损失的因素.....              | ( 398 ) |

|                                     |         |
|-------------------------------------|---------|
| 封隔器对热损失的影响.....                     | ( 401 ) |
| 热损失关系式.....                         | ( 402 ) |
| 结论.....                             | ( 402 ) |
| 附录：可凝结蒸汽流过井筒时，蒸汽干度表达式的推导.....       | ( 405 ) |
| 计算实例.....                           | ( 406 ) |
| 解题步骤.....                           | ( 406 ) |
| 22. 计算垂直管内的两相压力降.....               | ( 407 ) |
| 摘要.....                             | ( 407 ) |
| 引言.....                             | ( 407 ) |
| 泡状流.....                            | ( 407 ) |
| 段塞流.....                            | ( 407 ) |
| 过渡流.....                            | ( 408 ) |
| 环形雾状流.....                          | ( 408 ) |
| 选择研究方法的基础.....                      | ( 408 ) |
| 第 1 类.....                          | ( 408 ) |
| 第 2 类.....                          | ( 409 ) |
| 第 3 类.....                          | ( 409 ) |
| 结果比较.....                           | ( 409 ) |
| 结论.....                             | ( 412 ) |
| 附录A：修正的 GRIFFITH 和 WALLIS 法的描述..... | ( 415 ) |
| 附录B：流动方式的确定.....                    | ( 417 ) |
| 附录C：平均密度和摩阻梯度的计算.....               | ( 417 ) |
| 泡状流.....                            | ( 417 ) |
| 段塞流.....                            | ( 418 ) |
| 过渡流.....                            | ( 419 ) |
| 雾状流.....                            | ( 419 ) |
| 段塞流 $T_1$ 的发展.....                  | ( 420 ) |
| 附录D：两相压力降计算实例.....                  | ( 423 ) |
| 23. 温度对固结岩芯相对渗透率的影响.....            | ( 427 ) |
| 摘要.....                             | ( 427 ) |
| 前言.....                             | ( 427 ) |
| 实验装置和方法.....                        | ( 428 ) |
| 探测器.....                            | ( 428 ) |
| 探测器的刻度.....                         | ( 428 ) |
| 压力测量.....                           | ( 429 ) |
| 泵.....                              | ( 429 ) |
| 压力盒和蓄液罐.....                        | ( 429 ) |
| 恒温箱.....                            | ( 429 ) |

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| 步骤.....                  | ( 430 ) |
| 岩芯的制备.....               | ( 430 ) |
| 流体.....                  | ( 431 ) |
| 结果的讨论和分析.....            | ( 431 ) |
| 束缚水饱和度.....              | ( 431 ) |
| 残余油饱和度.....              | ( 432 ) |
| 各相相对渗透率.....             | ( 432 ) |
| 相对渗透率比.....              | ( 432 ) |
| 绝对渗透率.....               | ( 433 ) |
| 达到残余饱和度情况.....           | ( 433 ) |
| 关于油藏工程的问题.....           | ( 433 ) |
| 结论.....                  | ( 434 ) |
| 24. 用短时间油井试验法测定井筒污染..... | ( 441 ) |
| 摘要.....                  | ( 441 ) |
| 引言.....                  | ( 441 ) |
| 恒压注入油井试验的分析.....         | ( 442 ) |
| 确定井筒污染的注入能力试验.....       | ( 442 ) |
| 注入试验数据的定量分析.....         | ( 447 ) |
| 双区模型比较.....              | ( 448 ) |
| 渗透率垂向有变化的岩层的注入能力试验.....  | ( 448 ) |
| 结论.....                  | ( 449 ) |
| 附录A：单层油藏的恒压注入分析.....     | ( 450 ) |
| 附录B：从降落曲线求双区渗透率.....     | ( 453 ) |

# 高隐蒸汽驱油模型<sup>〔注1〕</sup>

K.H.柯兹<sup>〔注2〕</sup>

赵翊民 译 白景龙 校

## 摘 要

本文描述了一个考虑蒸馏现象或者气体溶解现象、模拟蒸汽驱油过程的高隐数学模型。这个模型对死油问题和双组分油问题采用直接法,分别联立,解三个方程和四个方程。在计算的稳定性和时间上,本模型与以前发表过的模型进行了比较。本文还对其它替代的蒸汽驱油模型作了详尽的讨论,其中之一已被我们作为高度稳定的等温黑油模型而采用。

## 引 言

在早先的一篇文章〔1〕中,对已发表的蒸汽驱油模型作了粗略的回顾。在那篇文章中描述了一个多组分的三维模型,它首先解一个单变量的压力方程,然后再同时解两个饱和度方程。根据我们在死油蒸汽驱油问题上的经验,那个模型在大多数情况下稳定性很好,在有些情况下也还有足够的稳定性。但在一些多组分问题上,那个模型在轻碳氢化合物的物料平衡上不够好。

这里所要描写的模型是为了在所有蒸汽驱油问题上提高计算的稳定性同时也消除早先那个模型在多组分问题上物料平衡的不足。这个高隐的三维模型,把油当作一个两种组分的混合物,以符合那些涉及到溶解现象、不溶性气体或者蒸馏现象的问题。在死油问题情况下,这个模型同时解三个方程;在多组分问题情况下,同时解四个方程。输运能力、毛细压力和生产项都通过饱和度及组份隐式处理,在无自由气体存在的体积元中,它们也通过温度隐式处理。

“隐式”这个词指的是在新的时间点 $(n+1)$ 时,对体积元间的流动项以及生产速率项采用隐式处理。我们发现在这些项中,对克分子密度和粘度显含还是隐含时间是不敏感的,因此它们就用显式来计算了。在计算 $(n+1)$ 时刻的相对渗透性时,我们采用一阶近似 $K_r(S_{n+1}) = K_r(S_n) + (\partial K_r / \partial S)_n \delta S$ ,忽略了台劳级数的二阶项和高阶项 $(\partial^2 K_r / \partial S^2)_n (\delta S)^2 / 2 + \dots$ 。如果相对渗透性与温度有关的话,也采用显式处理。

注1: 原文载于: SOCIETY OF PETROLEUM ENGINEERS JOURNAL,  
Oct. 1978, PP369—383

注2: K.H.COATS, MEMBER SPE AIME, INTERCOMP, RESOURCE  
DEVELOPMENT AND ENGINEERING, INC, HOUSTON