

文章编号: 1000-2634(2003)02-0047-04

油藏工程软件系统在孤东油田的应用*

贾俊山, 魏明, 黄文芬, 佟颖, 陈瑞

(胜利油田有限公司地质科学研究院, 山东 东营 257015)

摘要: 阐述的油藏工程软件系统以五种油藏工程动态方法研究井点剩余油分布。通过分层系及分小层计算单井和单元的剩余油饱和度、剩余油可采储量等指标, 实现分小层的井点及平面上剩余油分布研究。通过层内划分韵律段, 计算各韵律段的剩余油可采储量, 实现层内剩余油分布研究。软件系统简便易行、计算结果可靠, 特别适用于矿场操作, 能较大幅度提高工作效率, 具有较高的应用价值。

关键词: 油藏工程; 软件系统; 剩余油; 孤东油田

中图分类号: TE319

文献标识码: A

引言

在常规的宏观剩余油研究中, 由于数据量大, 研究工作往往滞后于油藏动态变化。为了及时、快速地了解地下流体动态, 指导现场生产措施, 油藏工程师利用动态资料进行了剩余油分布研究, 并应用了计算机处理。此次研究以生产动态资料以及水驱实验、检查井、测井解释等提供的储层物性及相渗参数为基础, 应用水力学公式及油藏工程经验公式进行剩余油指标计算和预测, 并以测井解释、数值模拟及检查井等资料相互检验, 形成一套操作性强的软件系统, 以满足矿场应用的要求。该系统筛选了五种油藏工程方法计算井点剩余油分布, 包括渗饱曲线法、水驱特征曲线法、物质平衡法、无因次注入、采出曲线法以及水线推进速度法等。通过分层系、分小层计算单井、单元的剩余油饱和度、剩余油可采储量, 实现分层系的井点及平面上的剩余油分布研究; 通过层内划分韵律段, 计算各韵律段的剩余油可采储量, 实现层内剩余油分布研究。

1 方法及原理

软件系统的技术原理是从常规油藏工程动态方法中筛选的五种方法。

1.1 渗饱曲线法^[1]

渗饱曲线法是将反映储层油水两相渗流理想状态的岩样数据与实际生产状况的水驱特征曲线结合

起来研究剩余油分布的方法。在水驱油实验中, 岩样油水相对渗透率曲线是油水两相渗流特征的综合反映, 根据储层性质及油井含水率可直接求得目前含油饱和度。但油水相对渗透率曲线只是反映了储层应具有渗流特征和应达到的理想效果, 而开发过程中作业措施、注入采出比的变化及井点间的相互干扰都能影响流体的实际流动状态。因此, 将两者结合的渗饱曲线法更真实地反映地下流体分布状态。该方法可计算单井的水驱储量、出口端含水饱和度、剩余油饱和度、剩余可动油饱和度以及区块的水驱储量和平均剩余油饱和度等指标。

1.2 水驱特征曲线方法^[2]

根据童宪章研究成果, 水驱油田到了高含水期, 大部分油井都可作单井甲型水驱曲线, 根据该曲线可计算单井水驱可采储量、剩余可采储量以及油井周围平均剩余油饱和度等。

1.3 物质平衡法^[1]

该方法是基于物质平衡原理而建立的一种方法, 在油藏工程研究中的应用较为广泛。本次研究主要用于井区内地质储量、剩余储量及平均剩余油饱和度的计算。

1.4 无因次采出注入法

方法根据油井注入量、采出量比值的对数与采出程度, 在油田开发后期的线形关系回归系数计算剩余油饱和度等指标。主要适用于注采井网比较规

* 收稿日期: 2002-06-11

作者简介: 贾俊山(1958-), 男(汉族), 山东惠民人, 工程师, 现从事油藏工程综合研究工作。

则的区块或单元。

1.5 水线推进速度法^[1]

在油藏开发后期,进行层内不同韵律段的剩余油研究,摸清剩余油分布规律,对剩余油的挖潜极为重要。水线推进速度法根据达西定律求出注入水在不同段上的推进速度,然后根据水驱速度与产量的关系,分析每个相对均质段采出程度及储量动用情况,可得到剩余储量及剩余油饱和度值,适用于厚油层层内剩余油描述。

2 软件系统

2.1 软件开发应用环境

油藏工程方法软件系统采用 Borland C++ 及 Visual C++ 语言编制;可在 Windows95 及 Windows98 环境下运行;要求 P II 266 以上机型,200 兆硬盘空间,64 兆以上内存。

2.2 软件系统基本功能

油藏工程方法计算井点剩余油软件系统主要包括五大功能:参数处理、参数录入、自动计算、结果显示、图形控制。参数处理主要是对油井产油量、产水量、水井注水量进行纵向劈分;参数录入包括文件路径、油田基本参数、计算参数的输入或读取、井位图及计算层位的选择等;计算过程包括曲线显示及调试、井组添加及删除、运行计算、结果保存等;结果显示包括分层系的各参数平面分布图、层内纵向剩余油分布图等;图形控制包括图形、图例的放大、缩小,井号标志显示、打印输出等功能。

五种计算方法相互独立、互相补充,只需建立一套相关数据便可支持各种方法的运行。应用水驱特征曲线法可计算区块和单井点的水驱控制储量、水驱可采储量、剩余可采储量等;应用渗饱曲线法可计算单井的水驱储量、出口端含水饱和度、剩余油饱和度、剩余可动油饱和度以及区块的水驱储量和平均剩余油饱和度等;采用物质平衡法可计算区块及井组的平均剩余油饱和度、剩余储量、剩余可动油饱和度、剩余地质储量丰度等;无因次法计算井组及区块的最终采出程度、剩余采出程度等。水线推进法则完成纵向剩余油定量研究,计算层内相对均质段的水线推进速度、剩余储量、剩余油饱和度等,也可推广应用于层间水线相对推进速度及剩余油饱和度的比较。

2.3 软件操作步骤

2.3.1 数据准备

根据各种计算方法的数据要求,软件运算所需的主要数据有,生产动态数据、单井小层划分及地质解释数据、相渗曲线数据、储层参数数据、油水井分产数据、测井精细解释数据。其中,油水井分产数据采用了自行研制的纵向及平面劈分程序计算生成。

2.3.2 参数处理

相渗曲线处理:由于不同渗透率和孔隙度的岩样测试的油水相对渗透率曲线是不相同的,因此在油藏工程计算中,要想得到能够代表整个油藏或整个层系的相渗曲线,就必须选取有代表性的样品相渗数据进行标准化处理。其原理是陈元千水湿储层相渗曲线平均化法^[3]。

储层物性参数回归:储层物性参数回归是以开发初期密闭取芯井资料为基础,建立原始含油饱和度和、残余油饱和度与岩样物性、流体性质的多元统计关系。对于孤东油田,回归结果如下

$$\lg S_{or} = -1.00328 - 0.00114 \lg k + 0.16326 \lg \phi + 0.15396 \lg \frac{\mu_o}{\mu_w} - 0.00954 \lg S_{wi} \quad (1)$$

$$\lg S_{oi} = -0.80655 + 0.08433 \lg k + 0.38615 \lg \phi \quad (2)$$

相关系数分别为 0.81、0.75。

相渗参数回归:根据取芯井的油水相对渗透率曲线,回归了关系式 $\lg \frac{k_{ro}}{k_{rw}} = A_2 + B_2 \cdot S_w$ 中 A_2 、 B_2 与孔隙度、渗透率、束缚水饱和度的多元回归关系。

$$\ln A_2 = 13.8434 + 0.1334\phi - 0.03332K + 1.5046S_{wi} + \ln(\phi^{-4.7796} S_{wi}^{0.2416}) \quad (3)$$

$$R^2 = 0.84$$

$$\ln B_2 = 22.6499 + 0.2154\phi - 0.05705K + \ln(\phi^{-7.7046} S_{wi}^{0.4343}) \quad (4)$$

$$R^2 = 0.71$$

据此可求到每口井每个层段的 A_2 、 B_2 近似值。

2.3.3 单井小层产量劈分

纵向劈产根据 kh/μ 值,将合采油井产量劈分到每个小层,并利用 C/O、多功能测井和检查井的分析结果以及单采井产量进行检验校正。

平面劈产以油井为中心,向所有一线注水井分配产量,具体步骤:

产量分配系数

$$B = \frac{kh}{\mu \cdot d} \quad (5)$$

某方向注水井分得产量

$$q = B \cdot \sum Q \quad (6)$$

计算单元累积产量

$$Q_L = \sum q_n + q' \quad (7)$$

2.3.4 计算单元的划分

孤东油田经开发井网调整后,形成了主力层以排状注水为主、非主力层以点状注水为主的注采系统。因此,对于规则井网,以注水井为中心,平行注水井排方向以油井为界,垂直注水井方向以水井井距之半为界划分计算单元;对于不规则井网,以水井为中心,以周边油井形成不规则闭合面积,根据井点坐标计算单元面积,采用容积法计算单元地质储量。

2.3.5 层内相对均质段的划分

采用研究有序量间的相关性并对其进行分类的R型聚类分析法,以测井精细解释资料为基础,以渗透率为研究变量进行相对均质段的划分。该方法嵌入水线推进速度分析法中,通过读取单井测井解释文件、选择分类个数后,自动形成划分结果并参与计算分析。

2.3.6 软件菜单系统解释剩余油分布

由于五种计算方法相互独立、补充,每种方法对应一项主菜单,完成上述步骤后选取五种计算方法之一,执行相应子菜单命令即可完成剩余油解释。

3 软件系统应用

软件系统主要解释了主力区块五套层系,由于

图件较多,主要以 6^{3+4} 层系为例介绍。

3.1 油藏概况

本层系含油面积 9.58 km^2 ,平均有效厚度 8.8 m ,地质储量 $1674 \times 10^4 \text{ t}$,目前采用北西—东南向(1夹1)行列切割注水,井距、排距均为 212 m 。本层系属辫状河沉积,河网化程度高,油层非均质严重。原始油层平均渗透率 $2000 \sim 4000 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均孔隙度 33.5% ,地下原油粘度 $130 \text{ mP} \cdot \text{s}$,地面原油粘度 $800 \text{ mP} \cdot \text{s}$ 。原始地层压力 13.4 MPa ,饱和压力 12.1 MPa ,地饱压差 1.3 MPa 。油藏具有高渗透、高饱和、岩石表面亲水等特征。由于受构造控制,东北部有不同程度的边水存在,原始油水界面在 $1334 \sim 1347 \text{ m}$ 之间。

截止2001年12月本层系共有油水井155口,其中油井84口,开井79口,单元日产液 16437 t/d ,平均单井日产液 208.1 t/d ,单元日产油 301 t/d ,平均单井日产油 3.8 t/d ,综合含水 98.2% ,采油速度 0.66% ,采出程度 31.34% 。注水井总井71口,开井64口,单元日注 $20489 \text{ m}^3/\text{d}$,平均单井日注 $320 \text{ m}^3/\text{d}$,平均动液面 89 m ,地下亏空为 $-1611.81 \times 10^4 \text{ m}^3$,地层总压降为 -0.58 MPa 。

3.2 剩余油解释

6^{3+4} 层系分2个小层 6^3 与 6^4 。解释油水井103口井,解释单井或井区的剩余分布指标有:剩余油饱和度、可动油饱和度、水驱储量、可采储量、剩余可采储量、可采储量采出程度和剩余储量丰度,利用微机自动绘制各参数平面分布图和柱状图(图1)。

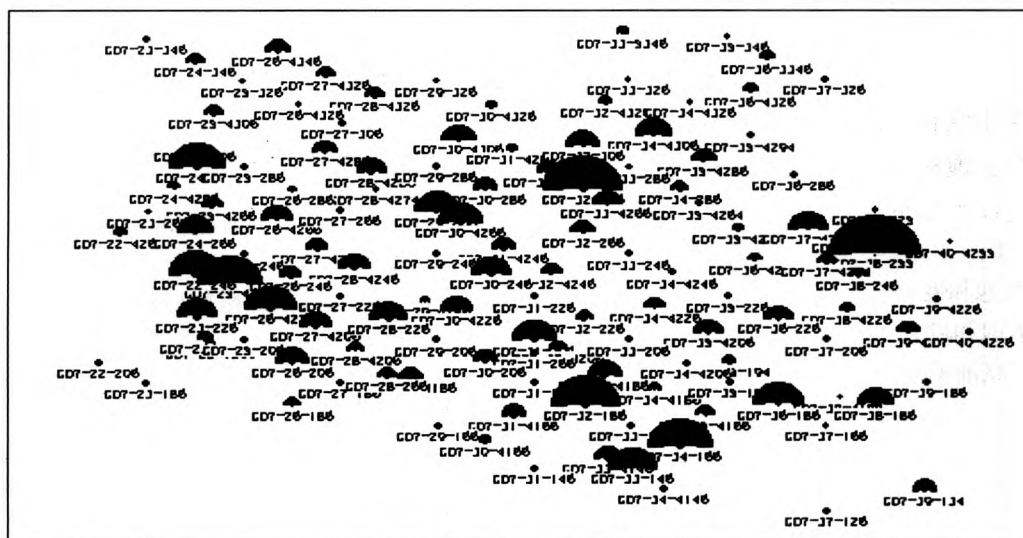


图1 6^{3+4} 层系可采储量分布图

3.3 解释成果初步评价

在软件系统完成剩余油解释工作,输出成果图件及数据表后,进行了解释成果的初步评价工作,将软件计算成果(包括软件劈产结果、剩余油单井点及井区解释指标)与单采井动态资料、C/O、多功能测井分析资料、数值模拟结果等多方面进行了详细对比与评价,认为该软件系统计算结果具有一定的

可靠性,可以作为矿场剩余油研究与挖潜措施制定的依据。

3.4 挖潜措施效果

应用该软件的解释成果,对 6^{3+4} 层系进行注采结构调整。调整方案共提出措施井18口,目前已完成10口,平均单井日增油35.6 t/d,累积增油1834 t,取得了良好的措施调整效果(见表1)。

表1 措施工作量完成及效果统计表

类型	井数		措施后生产情况				日增油	累增油
	设计	完成	日液	日油	含水	动液面		
卡封	2	2	151.2	5.4	96.4	888	5.2	380
低检	3	2	115.5	17.7	84.7	878	14.7	346
扶停	3	2	386.5	3.4	99.1	151	2.5	178
补孔	6	3	276.4	3.9	98.7	156	9.6	422
封堵	2	1	143.3	1.8	98.7	0	0.6	58
水转油	1	1	69.3	0	100	430	0	0
油转水	1	1					3	450
合计	18	11	1142	36.1	96.8	420	35.6	1834

4 结 论

(1) 软件系统实现了产量劈分及参数处理的微机化,为水驱油藏的动态分析提供了有力的工具;

(2) 实现了剩余油解释微机化,可以大幅度提高剩余油研究数据处理及图件制作等方面的工作效率,并且由于软件系统可操作性强,解释速度快,解释结果清晰可靠,满足了矿场应用的需要;

(3) 初步应用取得了较好的应用效果。

符号说明

S_{or} — 残余油饱和度;

S_{oi} — 原始油饱和度;

k — 渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

φ — 孔隙度;

S_{wi} — 束水饱和度;

S_w — 含水饱和度;

μ_o — 地下原油粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

μ_w — 地层水粘度, $\text{mPa} \cdot \text{s}$;

k_{ro} — 油的相对渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

k_{rw} — 水的渗透率, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

h — 油层厚度, m ;

d — 井距, m ;

R^2 — 相关系数, t ;

q — 油和水液量, t ;

Q_L — 累积产量, t ;

q_n — 各方向累积产量和, t ;

q' — 单元中心井产量, t 。

参考文献:

- [1] 秦同洛. 实用油藏工程计算方法[M]. 北京:石油工业出版社,1989.
- [2] 童宪章. 油井产状和油藏动态分析[M]. 北京:石油工业出版社,1981.
- [3] 陈元千. 油藏工程计算方法续篇[M]. 北京:石油工业出版社,1999.

(编辑 彭雪雪)