

doi: 10.3969/j.issn.1673-1409.2011.06.015

双水平井蒸汽辅助重力泄油数值模拟研究

崔红岩 (中石化国际石油勘探开发有限公司, 北京 100083)

李冬冬, 林新宇, 王玉靖 (中国石油大学(华东)石油工程学院, 山东 青岛 266555)

[摘要] 蒸汽辅助重力泄油技术作为开发超稠油的一项前沿技术, 日益受到人们的重视。以双水平井蒸汽辅助重力泄油为例, 运用数值模拟软件分析了油层有效厚度、孔隙度、含油饱和度等地质参数在 SAGD 过程中对开发效果的影响, 总结了 SAGD 的适用条件; 并对注采参数和布井参数进行了优化。研究表明, 采用双水平井组合 SAGD 技术, 提高超稠油原油采收率是经济可行的。

[关键词] 超稠油油藏; SAGD; 数值模拟; 地质参数; 注采参数

[中图分类号] TE345

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-1409(2011)06-0047-04

曙一区杜 84 块位于辽河盆地西部凹陷西斜坡欢曙上台阶中段, 东以杜 79 断层为界, 北以杜 32 断层为界, 西以杜 115 断层为界, 南以杜 205 井与曙 1-27-454 井连线为界。截至 2003 年, 探明含油面积为 23.6 km², 地质储量为 18308 × 10⁴ t^[1]。

杜 84 块兴隆台油层兴 V 组原始地层温度为 38 °C, 地温梯度为 3.8 °C/100m, 原始地层压力为 7.4 MPa, 压力系数为 0.98。20 °C 原油密度为 1.001 g/cm³; 50 °C 时原油粘度为 168150 mPa·s; 原油凝固点高, 平均在 25 °C 以上; 含蜡量低, 平均在 2% 左右, 属超稠油油藏。杜 84 块超稠油启动温度最高, 当原油温度达到 80 °C 以上时, 原油才具有流动性, 其粘温关系曲线如图 1 所示。

蒸汽辅助重力泄油 (SAGD) 技术是一项开发超稠油及特超稠油的前沿技术, 它以蒸汽作为热源, 过程中通过热传导与热对流相结合, 实现蒸汽和原油之间的热量传递, 依靠原油及凝析液的重力作用采油。SAGD 的生产过程分为预热、高压生产、降压生产和 SAGD 生产 4 个阶段^[2-4]。下面, 笔者以杜 84 块兴隆台兴 V 组油层为例, 开展 SAGD 数值模拟研究, 分析了油层有效厚度、孔隙度、含油饱和度等地质参数在 SAGD 过程中对开采效果的影响, 总结了 SAGD 的适用条件, 并对注采参数进行优化。

1 基本模型的建立

选取杜 84 块馆陶组油藏某个双水平井井组为数值模拟研究对象。采用均匀网格划分原则, 模型的网格划分为 25 × 3 × 26 (横向 I × 纵向 J × 垂向 K)。横向

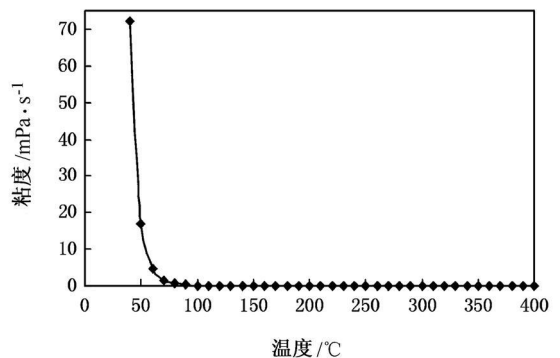


图 1 杜 84 块兴 V 组原油粘温关系曲线



图 2 三维立体模型网格示意图

[收稿日期] 2011-04-01

[作者简介] 崔红岩, 女, 硕士, 助理工程师, 现主要从事海外油气田开发方面的研究工作。

上每个网格步长为 2m; 纵向上每个网格步长为 100m。考虑垂向上非均质性不同的影响, 垂向上网格步长划分不同, 从上到下划分为 17×2m、2×1m、4×2m、3×1m (见图 2)。

2 SAGD 过程中地质参数影响

1) 油层有效厚度的影响 不同油层有效厚度对开发效果的影响见图 3。随着油层有效厚度增加, 采出程度有所提高, 累积油气比提高显著。SAGD 过程是流体的重力作为动力, 油藏厚度越大, 重力作用越明显; 若油层厚度太小, 不但重力作用小, 而且上下围岩的热损失大, 使油气比降低。为了减少热损失、提高采出程度, 15m 以上厚度的油层为优选。

2) 孔隙度的影响 不同孔隙度对开发效果的影响见图 4。随着孔隙度的提高, 采出程度和累积油气比增加。孔隙度越小, 蒸汽驱扫出的稠油含量越少, 且热蒸汽在井筒周围岩层中的热损失增大, 使油气比降低。开发油层的孔隙度在 15 以上比较合适。

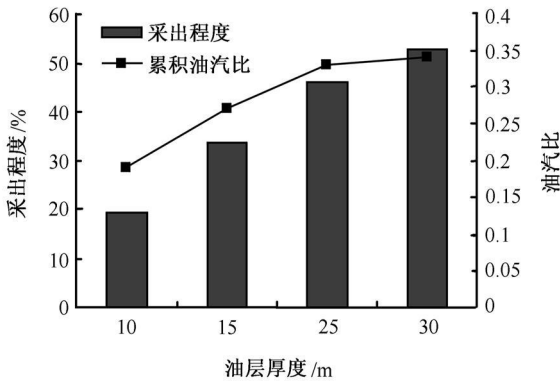


图 3 不同有效厚度下的开发效果对比

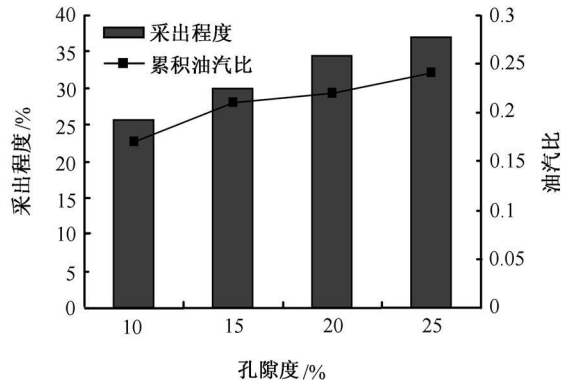


图 4 不同孔隙度下的开发效果对比

3) 原始含油饱和度的影响 不同原始含油饱和度对开发效果的影响见图 5。原始含油饱和度增加, 累积油气比和采出程度都增加。含油饱和度较低时, 含水饱和度较大, 蒸汽过多地消耗在地层水的加热上, 使采出程度和油气比都较低。因此, 可利用 SAGD 获得理想开采效果的稠油原始含油饱和度最好在 50 以上。

4) 油藏深度的影响不同油藏深度对开发效果的影响见图 6。随深度增加, 虽然注汽量不断加大, 但是采出程度和累积油气比都降低。因为随深度增加, 井筒热损失增大, 井底蒸汽干度降低, 蒸汽腔的发育程度变差, 从而影响了开发效果。在地层深度为 1500m 时, 开发效果已经较 740m 时差, 但累积油气比仍略高于 0.2, 从经济效益上讲还是可行的。而深度达到 2000m 时, 井底蒸汽干度过低, 已经不能满足 SAGD 的要求。蒸汽辅助重力泄油的油藏深度应在 1500m 以内。

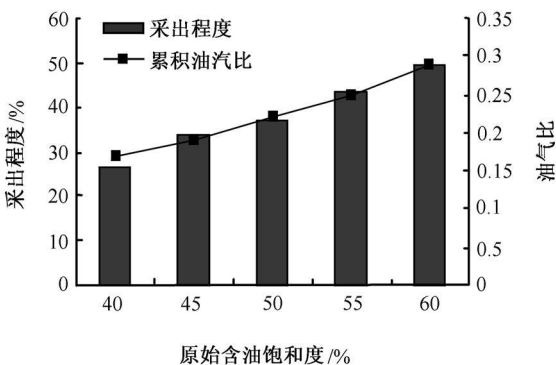


图 5 不同原始含油饱和度下的开发效果对比

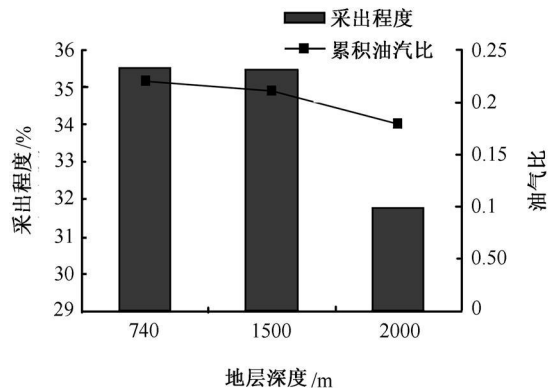


图 6 不同油藏深度 SAGD 开发效果对比

3 SAGD 过程中注采参数影响

1) 注采井距的影响 在 SAGD 生产过程中, 当注采井间的垂向距离较小时, 比较容易形成热连通, 但是很难控制界面; 当注采井间的井距太大, 在注采井之间很难形成热连通, 重力泄油速度较慢, 采油速度较低, 油气比较低。不同注采井距对 SAGD 开发效果的影响见图 7。随着注采井距的增大, 油气比逐渐增大, 采出程度随之增大。当井距达到 10m 左右时, 油气比和采出程度最大。但是当注采井距继续由 10m 增加到 12m 时, 油气比反而减小。井距过大会导致不能形成较好的热连通, 使开发效果变差。因此, SAGD 的注采井距以 10m 左右为宜。

2) 蒸汽干度的影响 不同蒸汽干度下 SAGD 的生产效果见图 8。蒸汽干度越高, SAGD 生产效果越好。蒸汽的比热容与热焓随着注入蒸汽干度的提高而变得越来越大, 蒸汽腔得到充分的发展, 使注入热量更加有效的加热油层。当蒸汽干度低于 50% 时, 累积油气比低于经济极限油气比 0.2。因此, 要使 SAGD 取得好的生产效果, 蒸汽干度应大于 70%。

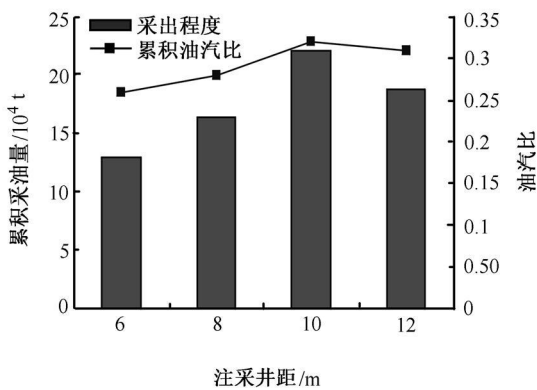


图7 不同注采井距下的开发效果对比

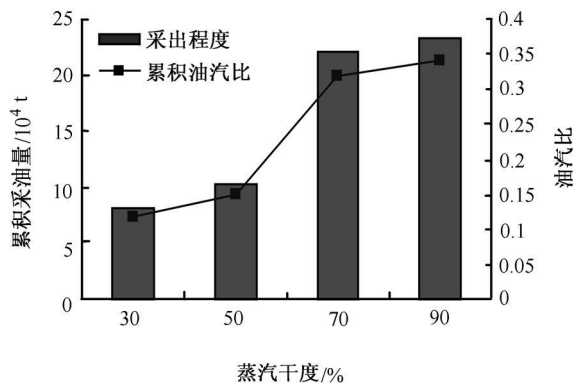


图8 不同蒸汽干度下的开发效果对比

3) 注汽速度的影响 不同注汽速度对 SAGD 开发效果的影响见图 9。采出程度随着注汽速度的增大而增大, 但油气比反而降低; 注汽速度较小, 生产时间加长, 生产成本提高。注汽速度越高, 同一时间内的注汽量越高, 故油气比减小。但是当注汽速度增大到一定程度时, 产油量增加趋势变缓, 因为随着蒸汽的不断注入, 大量热量被产出液带走, 而没有得到充分利用。因此, 在 SAGD 初期, 可以采用较大的注汽速度, 约 250~300t/d, 来促使蒸汽腔的形成; 在稳定生产期间, 注汽速度保持在 200t/d 左右, 来控制蒸汽腔的发育和扩展。

4) 采注比的影响 采注比指采出物的地下体积与注入剂的地下体积之比。不同采注比对 SAGD 开发效果的影响见图 10。随着采注比的增大, SAGD 阶段的采油量、累积油气比随之增加。当采注比为 1.4 时, 累积油气比及产油量增加的幅度最大, 采注比再增大, 累积油气比、采油量增加幅度减小。因此, SAGD 的采注比应大于 1.2, 最佳为 1.4。

4 结 论

1) 在油藏深度 1500m 以上, 油层厚度大于 15m, 孔隙度超过 15%, 原始含油饱和度超过 50%, 选用 SAGD 技术会取得较好的开采效果。

2) 在一定注汽速度下蒸汽干度越高, 生产井排液能力越强, 开发效果越好。

3) 在双水平井 SAGD 稳定生产阶段, 注采井距 10m 左右, 蒸汽干度须大于 0.7, 注汽速度 200t/d, 采注比为 1.4 时, SAGD 可取得较好的效果。

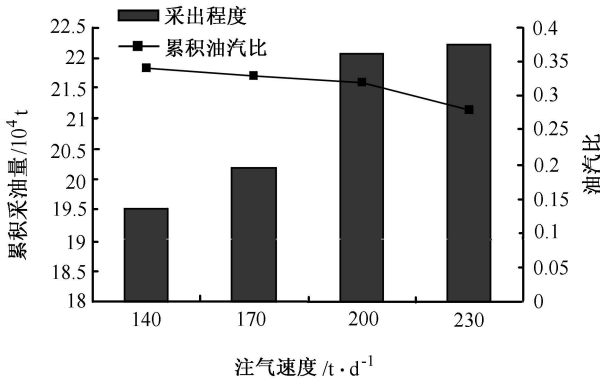


图9 不同注汽速度下的开发效果对比

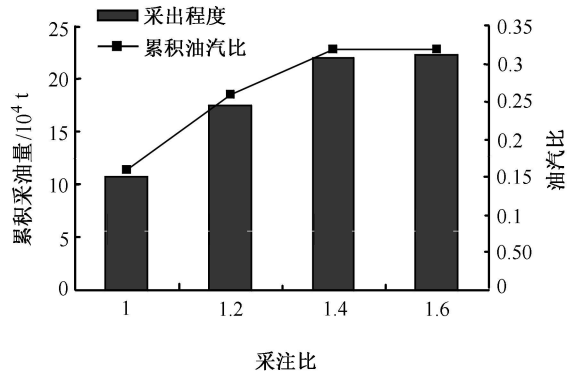


图10 不同采注比下的开发效果对比

[参考文献]

[1] 万仁溥. 中国不同类型油藏水平井开采技术 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1997: 37-65
 [2] 张方礼, 张丽萍, 鲍君刚, 等. 蒸汽辅助重力泄油技术在超稠油开发中的应用 [J]. 特种油气藏, 2007, 7 (2): 6-8
 [3] Butler R M, Stephens D J. The gravity of steam heated to parallel horizontal wells [J]. JCPT, April-June, 1981: 90-96
 [4] Roger Butler. SAGD 法的原理、发展、动态与未来 [J]. 金建译. 石油勘探开发情报, 1997, 7 (6): 69-73

[编辑] 洪云飞

(上接第40页)

3 结 语

介绍了纹理平滑滤波的原理以及在地震图像上的应用。该方法结合了 Nagao 和纹理分析技术, 在有效保留边界特征的同时, 压制了地震剖面的噪声, 处理后的地震剖面具有更好的平滑效果。

[参考文献]

[1] 朱菊华, 杨新, 李俊, 等. 基于纹理分析的保细节平滑滤波器 [J]. 中国图像图形学报, 2001, 6 (11): 1058-1064
 [2] Tomita F, Tsuji S. Extraction of multiple regions by smoothing in selected neighborhoods [J]. IEEE Trans On System's, Man and Cybernetics, 1977, SMC27: 107-109
 [3] Mako N, Takashi M A. Edge preserving smoothing [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1979, 9: 394-407.
 [4] Wang D C C, Vagnucci A H, Li C C. Gradient inverse weighted scheme and evaluation of its performance [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1981, 15: 167-181.
 [5] Dengliang Gao. Volume texture extraction for 3D seismic visualization and interpretation [J]. Geophysics, 2003, 68 (4): 1294-1302
 [6] Dengliang Gao. Latest developments in seismic texture analysis for subsurface structure, facies, and reservoir characterization: A review [J]. Geophysics, 2011, 76 (2): 1-13

[编辑] 洪云飞

the rational determination of production pressure difference.

Key words: gas reservoir; sand production; critical pressure difference; prediction method; simulation experiment

47 The Numerical Simulation Study of Dual Horizontal Well SAGD

CUI Hongyan (*International Exploration and Production Corporation, SIN OPEC, Beijing 100083*)

LI Dongdong, LIN Xinyu, WANG Yurjing (*China University of Petroleum, Qingdao 266555*)

Abstract: Steam-assisted gravity drainage has increasingly used as an advanced technology of producing extra-heavy oils. By taking dual horizontal wells as the example, the numerical models are created to study the exploitation effects under different geological parameters, such as net pay thickness, porosity and oil saturation and so on; the affect of geological parameters on SAGD progress is obtained, also the location of wells and injection-production parameters are optimized. Practice shows that the design is rational and the technology of enhancing super heavy oil recovery using dual horizontal SAGD wells is feasible.

Key words: super heavy oil reservoir; SAGD; numerical simulation; geological parameter; injection-production parameter

54 Seismic Data Inversion Analysis of Rock Mechanic Parameters Based on Logging Data

JI Hui, LOU Yi-shan, ZHAI Xiao-peng, SHI Weirzhan, QIN Du (*Key Laboratory of Drilling and Production Engineering for Oil and Gas of Hubei Province, Yangtze University, Jingzhou, 434023*)

SHI Liang-chao (*Department of Directional Drilling, Anton Oil, Beijing 100102*)

Abstract: Rock mechanic parameters in casing deformation formation are inverted by finite element analysis in this paper. The formation-cement mantle-casing system is studied. The relationship between casing deformation and rock mechanic parameters is determined. Then the rock mechanic parameters are backward analyzed by using finite element model and MAC logging data. Mohr-Coulomb failure theory is applied in the calculation to make sure the uniqueness of the results. This method is used in Zhongyuan Oilfield. The results are coincident with the field data.

Key words: rock mechanics parameter; logging data; casing deformation; Mohr-Coulomb; inversion calculation

58 Wellbore Stability Analysis of Extended Reach Wells and Its Application

SHI Weirzhan, LOU Yi-shan (*Key Laboratory of Drilling and Production Engineering for Oil and Gas of Hubei Province, Yangtze University, Jingzhou 434023*)

LIU Yurhe (*Changqing Industrial Group Co. Ltd, Xi'an 710021*)

HAO Hong-yong (*Key Laboratory of Drilling and Production Engineering for Oil and Gas of Hubei Province, Yangtze University, Jingzhou 434023*)

Abstract: Based on stable rock mechanism of well bore, the stress distribution around the well bore is analyzed, the mechanical model of extended reach well stability is established. The well collapse pressure of the well and fracture pressure were estimated based on the Mohr-Coulomb strength criteria and the maximum tension stress fracture criteria. The mechanic stability analysis is compiled by using the Visual Basic. The calculation of its collapse pressure and security density window of drilling fluid based on the condition of different inclinations and drift azimuth for the field data of one oilfield show that there is direct relationship between the hole collapse pressure, fracture pressure and inclination, drift azimuth. Finally, the optimal design of hole trajectory is presented.

Key words: extended reach well; well stability; collapse pressure; fracture pressure