文章编号:1673-5005(2012)01-0141-04

火烧开发现场动态跟踪分析

林日亿[1], 任旭虎[2], 谢志勤[3], 李淑兰[3]

(1. 中国石油大学 储运与建筑工程学院,山东 青岛 266555; 2. 中国石油大学 信息与控制工程学院,山东 青岛 266555; 3. 胜利油田 采油工艺研究院,山东 东营 257000)

摘要:通过数值模拟对胜利油田郑408-20井组的火驱现状进行分析,并预测未来5 a开发动态指标。计算结果表明:郑408-20试1油层较厚,注气量偏小,顶部油层由于气体的上浮作用气窜现象更严重,造成了单井产量较低;通过增加注气量、转湿、控制水气比等开发方案的调整,水气比为1.3 kg/m^{3}时,预测5 a后地层压力约为9 MPa,地层温度有所降低,水蒸气把已燃区内的热量带到了燃烧前缘,火烧前缘已经接近生产井,累积产油量为30.86 kt,采出程度达到14.59%。

关键词:油藏; 火烧; 开发动态; 预测; 数值模拟

中图分类号:TE 357.44 **文献标志码**:A doi:10.3969/j.issn.1673-5005.2012.01.024

Tracking analysis of dynamic tracking on combustion development site

LIN Ri-yi[1], REN Xu-hu[2], XIE Zhi-qin[3], LI Shu-lan[3]

(1. *College of Pipeline and Civil Engineering in China University of Petroleum, Qingdao* 266555, *China*;
2. *College of Information and Control Engineering in China University of Petroleum, Qingdao* 266555, *China*;
3. *Oil Recovery Research Institute of Shengli Oilfield, Dongying* 257000, *China*)

Abstract: In-situ combustion status of Zhen 408-20 well group in Shengli Oilfield was analyzed using numerical simulation. The development dynamic indicators for 5 years were forecast. The results show that the oil reservoir of Zhen 408-1 test well is thick and the gas-injection rate is low. The phenomenon of gas jump is serious at the top, so the single well production is lower. After adjusting the development plan by increasing air injection rate, shifting to the wet combustion with water-gas ratio of 1.3 kg/m^3, 5 years later, the formation pressure decreases to 9 MPa. The formation temperature is lower, and water vapor carries the heat of burned region to the combustion front, so the burning front is close to the producing wells. The cumulative oil production is 30.86 kt, and the recovery efficiency reaches 14.59%.

Key words: reservoirs; combustion; development dynamic; prediction; numerical simulation

火烧油层又称为地下燃烧或层内燃烧,亦称火驱开采法,是一种在油层内部产生热量的热力采油技术[1-5],方法是把空气或氧气注入到油层里面,使其在油层中与有机燃料起反应,用产生的热量来帮助采收未燃烧的原油。火烧油层技术是一种具有明显技术优势和潜力的热力采油方法,是稠油开采的第二大技术。它具有驱油效率高(一般达80% ~ 90%)、单位热成本与蒸汽相当、油藏适应范围广(从薄油层到厚油层、从浅油层到深油层、从稀油到稠油,及已开发油藏)等特点[6-9]。笔者通过数值模拟方法对郑408-20井组的火驱参数进行概算和优选,并对火烧油层开发5 a来的情况进行分析。

1 火烧井组概况

郑408块西北部位于构造高部位,油层厚度较大,第三均质段油层厚度约14 m;泥质含量为6% ~ 7%,原油黏度(地面脱气油50 ℃)1.0 ~ 1.5 Pa·s,是本区泥质含量最低、原油黏度最小的井区;注水井

收稿日期:2011-06-10

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(10CX04014A);国家科技重大专项课题(2011ZX05009-004);山东省自然科学基金项目(ZR2010EL021)

作者简介:林日亿(1973-),男(汉族),湖南桂阳人,副教授,博士,从事热力采油和热能利用的教学与科研工作。

万方数据

注水量少,油井均采用油基钻井液钻井,油层污染程度低,是郑 408 块开展火烧驱油试验最佳部位。为便于评价火烧驱油试验效果,选择郑 408-20 井组作为试验井组,包括一线生产井 4 口,二线生产井 7 口,注采井网见图 1。

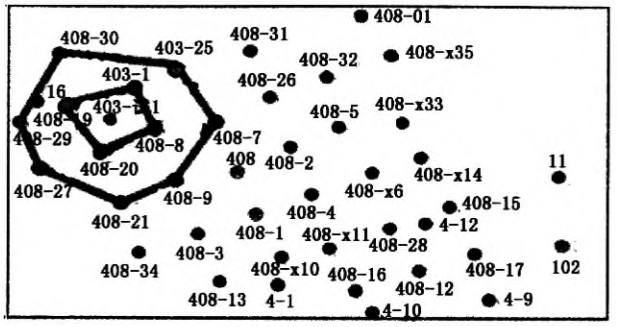

图 1 郑 408 块井位图

Fig. 1 Zheng 408 well locations

2 现场火烧油层开发效果分析

2.1 注气井

现场从2003年9月开始注气以来,截至2008年9月,累积注气量为 3.24×10^7 m^3,注气速度开始较慢,约 500 ~ 700 m^3/h,到后来逐渐增加到 1.0 ~ 1.5 km^3/h,在 5 a 注气期间平均日注气量为 17.7 km^3,注气压力较高,大约为 20 ~ 25 MPa。注气压力、速度的变化如图 2 所示。注气井郑 408-试 1 油层段长约 50 m,总体来说注气量偏小,氧气和地层原油反应产生的热量不足,势必造成单井产量低。

2.2 生产井产液

现场自开始注气到 2008 年 9 月,一线井累积产油量为 11.507 1 kt,一线井平均日产油 6.3 t,二线井累积产油量为 17.474 4 kt,二线井平均日产油 9.6 t,一、二线井总累积产油量为 28.981 5 kt。一、二线井的生产动态曲线如图 3 所示。日产液量和日产油量从 1 000 d 以后逐渐降低,分析原因主要是在火烧注气过程中,气体的流度远小于水相和油相的流度,加之油相的黏度较大,加剧了驱替流体和被驱替流体间的流度差异,形成了比较严重的气窜,降低了注入气体的波及体积和驱替效率,使得生产井产量逐渐下降。

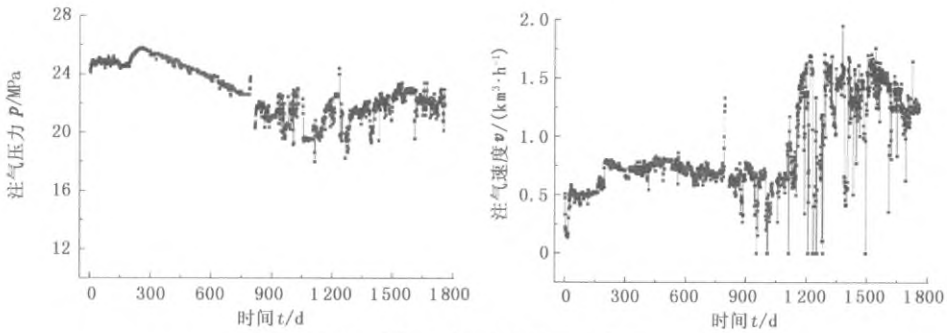

图 2 注气压力、速度的变化曲线

Fig. 2 Variation of gas injection pressure and speed

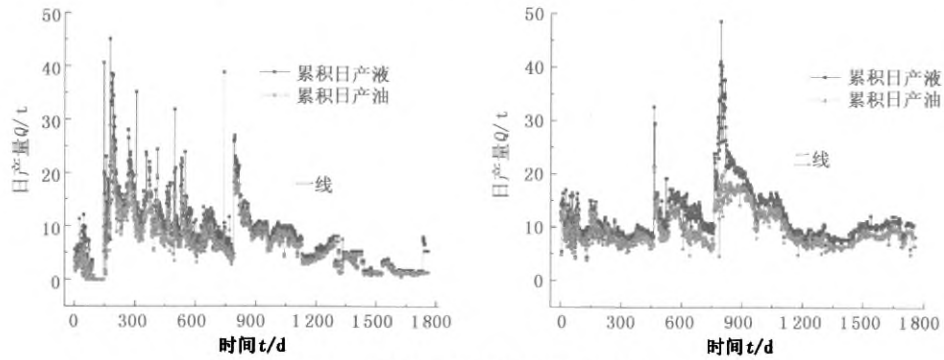

图 3 一线、二线井生产动态曲线

Fig. 3 Production performance curve of line, second wells

2.3 生产井产气

从 2003 年以来火烧期间,一线生产井 408-G20 产出气体成分含量如图 4 所示。由图 4 可以看出,产出气体中的氧气含量比较低,一般小于 0.5%,一氧化碳含量较少,一般小于 0.5%,二氧化碳含量较高,一般为 10% ~17%,这说明空气在地层内和原

万方数据

油进行了充分反应,反应较为彻底,氧气利用率高,生产井产量低并不是由于地层反应不好造成的。二线生产井 408-9 的产出气体成分含量如图 5 所示。二线井的氧气、二氧化碳和一氧化碳含量都较低,这说明火烧对二线井影响较小。

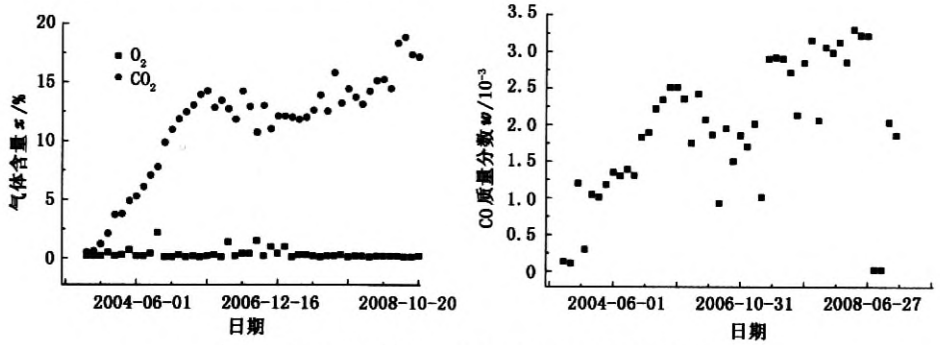

图 4　408-G20 井 O_2、CO_2 和 CO 含量变化曲线

Fig. 4　Variation curves of O_2, CO_2 and CO in 408-G20 well

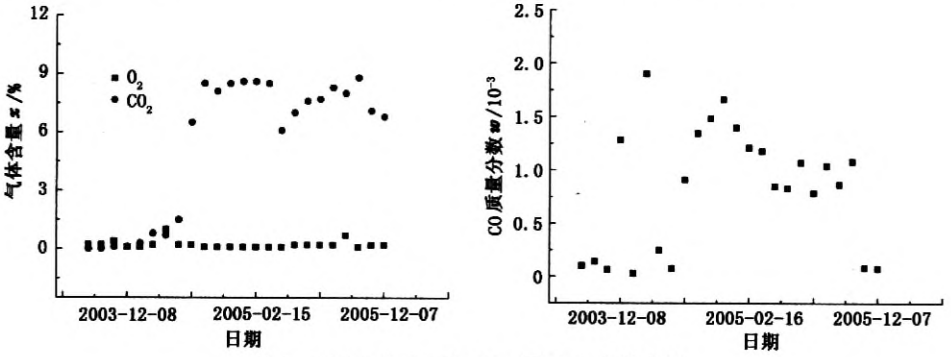

图 5　408-9 井 O_2 和 CO_2 及 CO 变化曲线

Fig. 5　Variation curves of O_2, CO_2 and CO in 408-9 well

2.4　火烧油层现状

对现场火烧油层进行了模拟,得到的地层压力、温度、含水饱和度、含气饱和度和含油饱和度分布见图 6。

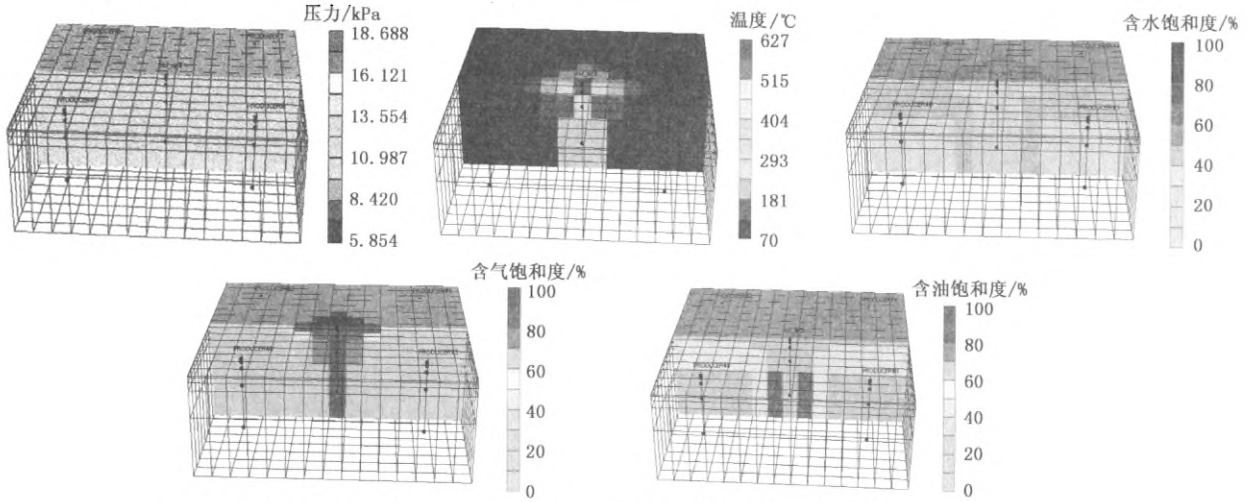

图 6　目前地层压力、温度、含水饱和度、含气饱和度及含油饱和度分布

Fig. 6　Distributions of formation pressure, temperature, water saturation, gas saturation and oil saturation at present

由模拟结果可以看出:目前地层压力约为 12 MPa;越靠近注气井地层温度越高,火烧前缘约为井间距离 1/3(约为 60 m),已经达到转湿时机;靠近注气井周围的地层含气饱和度较大,顶部小层由于

万方数据

气体的上浮作用含气饱和度较大;注气井周围和底部小层含油饱和度较高。

3 开发预测效果

针对现场前一阶段注气量少和产油量低的问题,采取有针对性的火烧开发优化方案:注气量增加到 3.0×10^4 m^3/d,从 2008 年 9 月开始进入转湿,水气比为 1.3 kg/m^3,即每天注水 39 m^3。对以上参数进行数值模拟,得到 5 a 后的开发指标为注气量 54.75 Mm^3,注水量 71.18 kt,累积产油量 30.86 kt,气油比为 1071 m^3/t,采出程度 14.59%。预测的地层压力、温度、含水饱和度、含气饱和度和含油饱和度分布如图 7 所示。累积注气量、注水量和产油量如图 8 所示。5 a 后地层压力约为 9 MPa;由于注水的作用,地层温度有所降低,水蒸气把已燃区内的热量带到了燃烧前缘,火烧前缘已经接近生产井;靠近注气井周围的地层含气饱和度较大,顶部小层由于气体的上浮作用含气饱和度较大;注气井周围和底部小层含油饱和度较高。

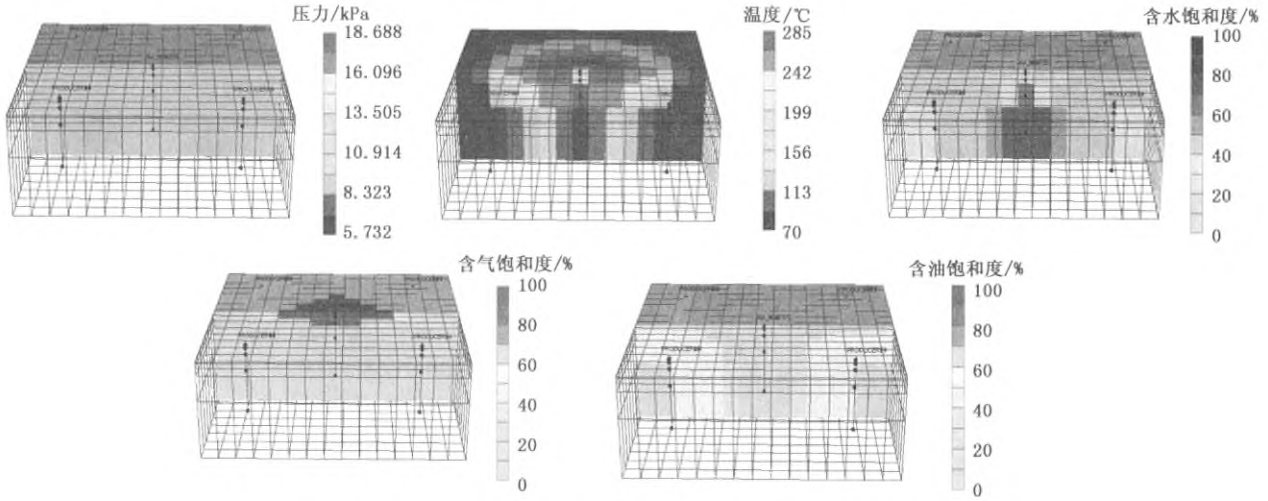

图 7 未来压力、温度、含水饱和度、含气饱和度及含油饱和度分布

Fig. 7 Distributions of formation pressure, temperature, water saturation, gas saturation and oil saturation in future

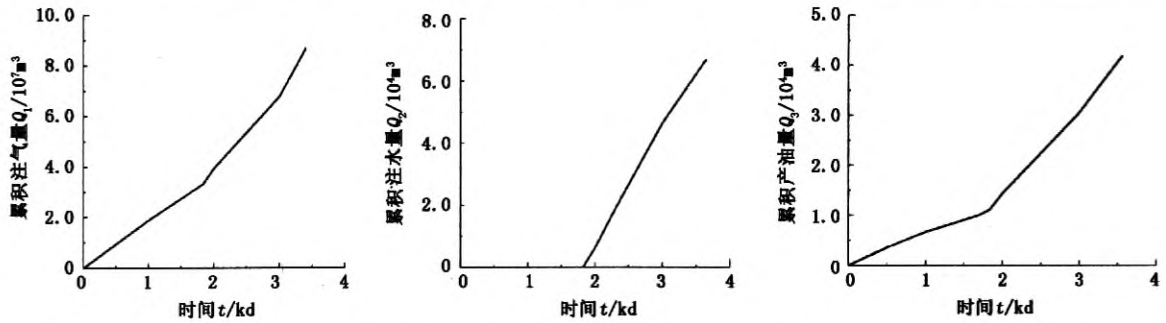

图 8 累积注气量、注水量及产油量曲线

Fig. 8 Cumulative gas injection, water injection and oil production curves

4 结 论

(1)郑 408-20 井组在 5 a 火烧开发期间平均注气量为 17.7 km^3/d,实际单井产量基本与数值模拟结果一致。注气井郑 408-试 1 油层较厚,注气量偏小,单井产量低是由于注气量低造成的。

(2)注气过程中气窜现象较严重,尤其是顶部油层由于气体的上浮作用气窜现象更严重,这也是造成单井产量低的一个原因,现场火烧油层实施过程中应该采取有效措施控制气窜。

(3)按照优化方案,从 2008 年 10 月转湿,注气量增加到 30 km^3/d。水气比为 1.3 kg/m^3,5 a 后地层压力约为 9 MPa,地层温度有所降低,水蒸气把已燃区内的热量带到了燃烧前缘,火烧前缘已经接近生产井。

(下转第 149 页)

万方数据

83-85,108.
ZHANG Jing-yu. Reflections on countermeasures and responses of joints of structures in Wenchuan earthquake [J]. Journal of Xihua University: Natural Science Edition, 2009,28(4):83-85,108.

[6] 门进杰,史庆轩,陈曦虎. 汶川地震对远震区高层建筑造成的震害及设计建议[J]. 西安建筑科技大学学报,2008,40(5):648-653.
MEN Jin-jie, SHI Qing-xuan, CHEN Xi-hu. Seismic damage of high buildings caused in the ramote areas from epicenter and aseismic design suggestion[J]. Journal of Xi'an University of Architecture & Technology, 2008,40(5):648-653.

[7] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50011—2010 建筑抗震设计规范 [S]. 北京:中国建筑工业出版社,2010.

[8] PAPADRAKAKIS, MANOLIS, MOUZAKIS. Earthquake simulator testing of pounding between adjacent buildings [J]. Earthquake Engineering & Structural Dynamics, 1995,24(6):811-834.

[9] 熊海贝,朱伯龙,陆雪平. 高层建筑复杂体型设置防震缝的研究[J]. 四川建筑科学研究,1996,22(3):27-31.
XIONG Hai-bei, ZHU Bo-long, LU Xue-ping. Study on seismic gaps of high rise building with complex structures [J]. Building Science Research of Sichuan, 1996,22(3):27-31.

[10] KASAI K, JAGIASI A R, VAN J. Inelastic vibration phase theory for seismic pounding mitigation[J]. Journal of Structural Engineering, 1996,122(10):1136-1146.

[11] 邹宏德,蓝宗建. 相邻建筑结构碰撞问题的探讨[J]. 工业建筑,2002,32(4):49-52.
ZOU Hong-de, LAN Zong-jian. Discussion on structural collision between adjacent buildings[J]. Industrial Construction,2002,32(4):49-52.

[12] 孟庆利,徐盛增. 相邻结构地震碰撞研究简述[J]. 世界地震工程,2003,19(4):68-72.
MENG Qing-li, XU Sheng-zeng. A simplified review on the seismic pounding of adjacent building[J]. World Earthquake Engineering, 2003,19(4):68-72.

[13] 宋天齐.《建筑抗震设计规范》(GB 50011—2001)有关问题研究[J]. 工业建筑,2005,35(8):110-113,116.
SONG Tian-qi. Researches on the problems related to "code for aseismic design of buildings" (GB 50011—2001)[J]. Industrial Construction, 2005,35(8):110-113,116.

(编辑 修荣荣)

(上接第144页)

参考文献:

[1] CHU C. State-of-the-art review of fireflood field projects [J]. JPT, 1982,34(1):19-36.

[2] 关文龙,马德胜,梁金中,等. 火驱储层区带特征实验研究[J]. 石油学报,2010,31(1):100-104.
GUAN Wen-long, MA De-sheng, LIANG Jin-zhong, et al. Experimental research on thermodynamic characteristics of in-situ combustion zones in heavy oil reservoir[J]. Acta Petrolei Sinica, 2010,31(1):100-104.

[3] TABER J J, MARTIN F D. Technical screening guides for the enhanced recovery of oil[J]. SPE 12069,1983.

[4] 谢志勤,贾庆升,蔡文斌,等. 火烧驱油物理模型的研究及应用[J]. 石油机械,2002,30(8):4-6.
XIE Zhi-qin, JIA Qing-sheng, CAI Wen-bin, et al. Research and application of physical model of fire flooding [J]. China Petroleum Machinery, 2002,30(8):4-6.

[5] 王弥康,张毅,黄善波. 火烧油层热力采油[M]. 东营:石油大学出版社,1998:1-4.

[6] GATES C F, RAMEY H J. A method for engineering in-situ combustion oil recovery projects[J]. JPT, 1980,32(2):285-294.

[7] FASSIHI M R, GOBRAN B D, RAMEY H J. Algorithm calculates performance of in-situ combustion[J]. OGJ, 1981,79(46):91-98.

[8] ADEGBESAN K O, DONNELLY J K, MOORE R G. Low-temperature-oxidation kinetic parameters for in-situ combustion: numerical simulation [R]. SPE 12004, 1987.

[9] BINDERG G, ELZINGA E R, TARMY B L et al. Scaled-model tests of in-situ combustion in massive unconsolidated sands[C]. 7th World Petr Congr Mexico City, 1967:477-485.

[10] GUAN Wen-long, WU Shu-hong, WANG Shi-hu, et al. Physical simula-tion of in-situ combustion of sensitive heavy oil reservoir[R]. SPE 110374, 2007.

(编辑 沈玉英)

万方数据