

文章编号: 1006 - 6535 (2008) 01 - 0099 - 04

# 齐 40 块蒸汽驱井组油层套管应力数值计算

余中红<sup>1,2</sup>, 檀德库<sup>2</sup>, 郑成立<sup>2</sup>, 陈捷<sup>2</sup>, 郑之初<sup>1</sup>

(1. 中国科学院力学研究所, 北京 100080; 2. 中油辽河油田公司, 辽宁 盘锦 124010)

**摘要:** 将蒸汽驱汽窜形成的窜流温度场结果引入井筒应力分析模型中, 利用有限元分析软件 ANSYS 进行了井筒在不同约束条件下的应力计算。计算结果表明, 最大热应力都发生在套管内壁, 且超过了 N80 套管的热弹性屈服极限, 最大热膨胀都发生在温度变化过渡区, 当油层上覆盖层为泥页岩时, 其热应变达到了 2%, 远超过材料弹性极限应变 0.3%, 是诱发热采井套管变形损坏的主要原因。

**关键词:** 蒸汽驱; 套管变形; 应力场; 有限元法; 数值模拟; 齐 40 块

**中图分类号:** TE2 **文献标识码:** A

## 前言

稠油热采井套管损坏机理已有许多研究, 普遍认为热采井套管损坏是因轴向热胀应力过高引起的<sup>[1~2]</sup>, 在蒸汽驱过程中蒸汽汽窜形成的窜流温度场不仅减小了有效加热面积, 而且对套管的热应力的影响也很大, 易使套管内壁热应力超过弹性极限而发生塑性周向变形<sup>[3]</sup>。本文采用套管柱嵌入水泥环三维轴对称模型, 考虑套管、水泥环、地层组成的耦合作用<sup>[4]</sup>, 在注蒸汽吞吐时井间发生汽窜形成地层窜流的情况下, 通过 ANSYS 有限元分析的数值模拟, 对齐 40 块齐 40 - 026 蒸汽驱先导试验井组的井筒热应力和热膨胀进行了分析, 为今后解决蒸汽驱井套管损坏防治问题提供一定的科学依据。

## 1 计算模型的建立

为了精确地分析蒸汽驱生产井井筒应力场, 需将温度场计算结果引入其中, 对瞬态温度场和应力场进行耦合求解, 考虑套管、水泥环和地层联合作用, 选择使用三维轴对称模型<sup>[1]</sup> (图 1)。选取套管

钢级为 N80, 公称直径为 178 mm, 壁厚为 8.05 mm, 水泥环厚度为 36 mm。

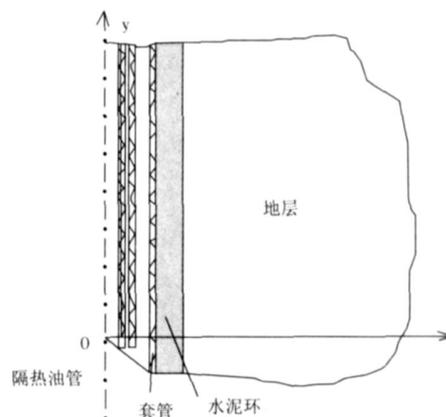


图 1 有限元计算模型示意图

### 1.1 研究区块的计算模型

齐 40 块齐 40 - 026 蒸汽驱先导试验井组, 深度为 800 ~ 1 050 m、宽度为 280 m 的地层、油层区域, 区域内包括 3 套油层, 4 口注汽井、21 口生产井的二维模型。为消除边界约束的影响, 油层周围的下部和两侧各增加 500 m 作为外部边界。齐 40 - 026 蒸

收稿日期: 2007 - 12 - 24; 改回日期: 2008 - 01 - 03

基金项目: 本文系中国石油天然气集团公司先导项目 (20020493)

作者简介: 余中红 (1965 - ), 男, 高级工程师, 1993 年毕业于石油大学 (华东) 油气田开发工程专业, 现为中国科学院力学研究所在读博士研究生, 从事采油管理工作。

汽驱先导试验井组单元图见图 2。

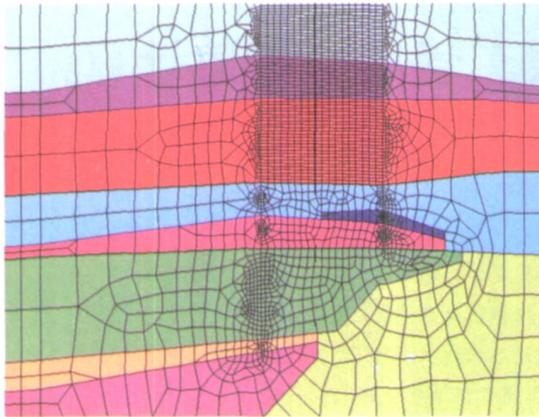


图 2 计算模型

力减小,导致软弱岩层段的套管应力增大。

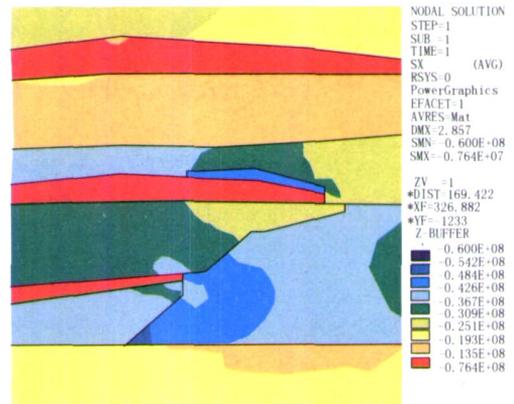


图 3 软弱地层原始水平应力场

### 1.2 材料参数

考虑地层和油层内岩层物性的差异,各层的材料参数取值不同。材料参数见表 1。

表 1 地层、油层及夹层材料参数

材料号	材料名称	热传导系数 / (W / m <sup>2</sup> · K)	弹性模量 / 10 <sup>4</sup> MPa	泊松比	密度 / (g / cm <sup>3</sup> )
1	周围地层	0.68	5.0	0.18	2.20
2	油层	3.00	1.5	0.15	2.20
3	夹层	0.70	2.5	0.20	2.20
4	油层	1.50	2.8	0.15	2.25
5	夹层	5.00	2.5	0.20	2.25
6	夹层	1.00	3.2	0.20	2.30
7	地层	0.70	5.0	0.12	2.30
8	油层	10.00	3.0	0.30	2.30

### 1.3 软弱地层应力场

由于地质方面的原因,岩层物性差别较大,材料参数差别较大。当油层比周围岩层软弱时,油层的弹性模量较小,使软弱岩层段的套管应力增大。在上述边界条件及其温度不变的条件下,套管的材料参数如表 2 所示,对地层应力场进行计算,结果

表 2 材料参数

材料号	材料名称	热传导系数 / (W / m <sup>2</sup> · K)	弹性模量 / 10 <sup>4</sup> MPa	泊松比	密度 / (g / cm <sup>3</sup> )
9	套管	43.70	19.60	0.26	7.85
10	套管	43.70	19.60	0.26	7.85

见图 3。由图 3 可以看出,油井周围地层垂向应力值基本按应力梯度分布,地层的弹性模量变化对垂向应力值影响不大,但是,水平地应力的数值随地层的弹性模量而变化。地层软弱后应力减小,承载

## 2 计算结果及分析

为了分析注蒸汽套管及地层热膨胀和热应力,首先需要确定地层原始温度下的热膨胀和热应力。当井深 1 000 m 时,设定地层初始温度为 50 ,通过分析计算,得到井筒热应力最大值在套管内壁为 91.4 MPa,最大热膨胀为 0.119 mm,套管及地层的热膨胀和热应力都比较低。

### 2.1 高温注蒸汽引起的油层温度场变化

计算模型 1:注汽井在 2 个油层注入 320 高温蒸汽后,引起周围岩层的温度场发生变化(图 4),周围岩层的温度升高。由图 4 可看出,其岩层温度值由注汽井周围油层向外逐渐减弱。

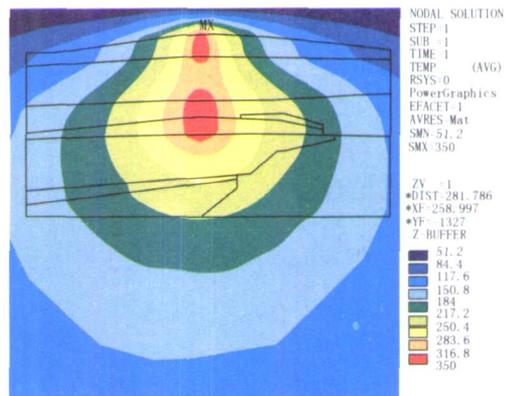


图 4 双层注汽温度场

由于注汽后地层温度升高,对注汽井周围采油井套管应力的影响较大,油井周围岩层的温度值如

图 5 所示。

计算模型 2:包含 2 口井的平面计算模型,在整个上部岩层段注入 320 高温蒸汽后,引起周围岩层的温度场发生变化(图 5)。

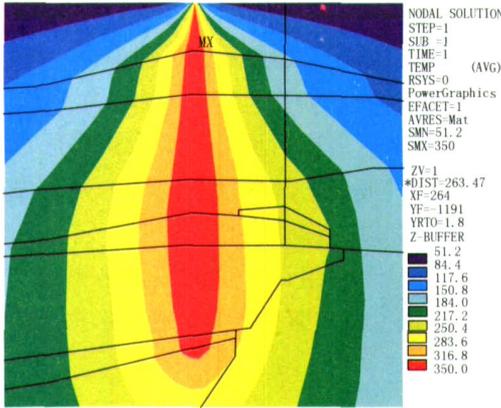


图 5 注汽后地层温度场

### 2.3 高温注蒸汽引起油井套管应力场的变化规律

注汽井注入 320 高温蒸汽时,周围岩层的温度升高,邻近采油井岩层的温度升高,从而导致岩层膨胀,并挤压油井套管,导致套管应力增加。因为油层较弱,所以在第一油层段套管应力为 451

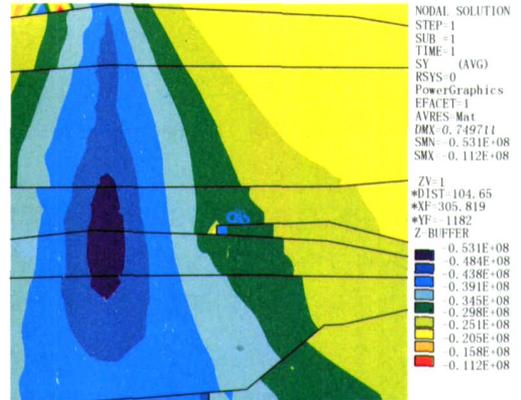


图 7 两油层注汽热采井垂向应力

### 2.2 高温注蒸汽引起油层应力场的变化

注汽井注入 320 高温蒸汽时,周围岩层的温度升高,地应力随之发生变化。邻近采油井岩层的温度升高,从而导致岩层膨胀,周围岩层应力明显增加。当只在两油层注汽时,地层局部温度升高,注汽井、采油井周围岩层的当量应力见图 6、7,当量应力的最大值是未注汽时的 1.7 倍。图 8 为注汽时夹层窜入蒸汽时注汽井、采油井周围岩层的当量应力图,注汽井附近岩层应力是未注汽时的 3.9 倍,采油井附近岩层应力是未注汽时的 2 倍。

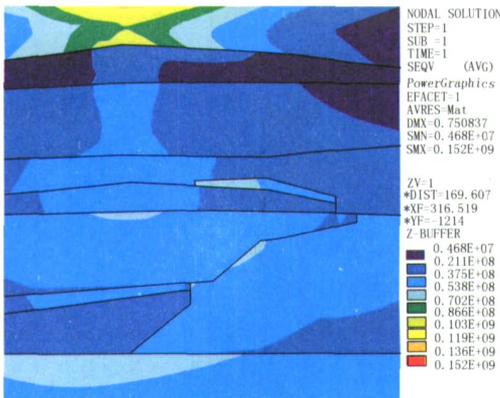


图 6 两油层注汽热采井当量应力

由此可见,随着注汽量的增加,油层、夹层温度升高的区域扩大,岩层应力随之增加,当岩层应力达到地层的破坏应力,可能导致岩层破坏。地层骨架失去承载作用,导致套管承受过高的上覆岩层压力而损坏。

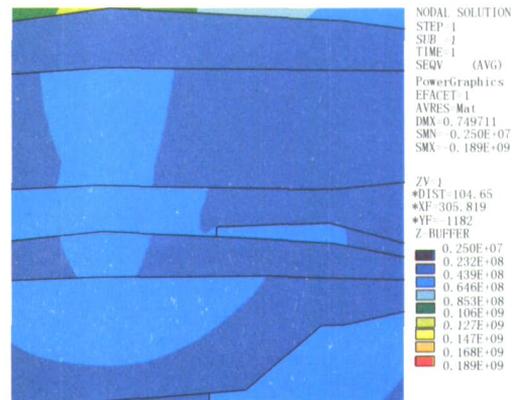


图 8 夹层窜入蒸汽时岩层当量应力

MPa,夹层段套管应力值为 301 MPa,油层段套管应力是夹层段套管应力的 150.8%;而在第二油层段有一出砂区域,当岩层出砂后,出砂区域地层比其他岩层软弱,上覆岩层的压力主要由该段套管支撑,因此该区域套管应力急剧增大,当套管应力达到屈服应力时会产生变形,极易造成套管损坏。

油井套管的轴向应力的变化规律,数值与当量应力相似,说明套管的轴向应力随着地层弹性模量等参数的不同而显著变化,轴向应力数值是影响套管当量应力增加的主要因素。不同的岩层地质条件,其套管应力值随之变化,松软地层或地层骨架被破坏失去支撑能力,其套管应力显著增大,可能发生多种形式的套管损坏。

## 2.4 窜流时井筒的热膨胀及热应力

对于地层存在高渗透带的热采井,注入的热蒸汽顺着地层高渗透通道流走,形成注汽窜流,其井筒的传热主要是热传导问题,注汽窜流不仅使有效加热范围减小,也会对井筒应力产生影响,因此,根据建立的模型和载荷,分别计算了窜流时注汽时间为 10、14、20 d 时井筒热膨胀及热应力。注汽 20 d 时套管和水泥环内壁的应力沿轴向分布见图 9。

从图 9 可以看出,在计算模型下套管的热应力最大值出现在内壁,已超过了 N80 热弹性屈服极限;套管和水泥环的应力随注汽时间的延长而增加不大,而套管的热膨胀随注汽时间延长增大比较明显。

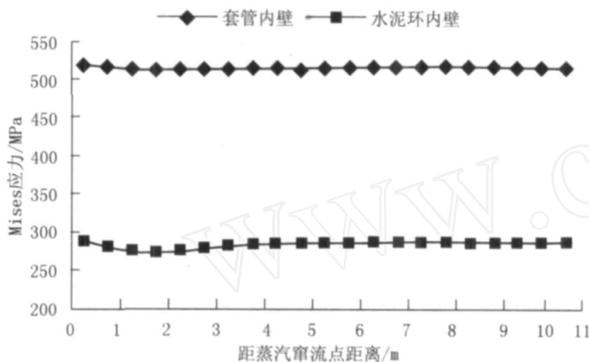


图 9 注汽 20 d 时窜流温度场产生的套管和水泥环内壁的 Mises 应力变化曲线

## 3 结 论

(1) 齐 40 块齐 40 - 026 蒸汽驱先导试验井组

原始地层温度下套管及地层的热膨胀和热应力都较低;蒸汽汽窜形成的窜流温度场不仅减小了有效加热面积,而且对套管的热应力的影响也很大,易使套管内壁热应力超过弹性极限而发生塑性周向变形。

(2) 蒸汽驱注汽加热地层过程中,最大热应力发生在套管内壁,然后随径向距离增大下降,在地层温度过渡带应力有所回升。最大热膨胀都发生在温度变化过渡区。随着注汽时间的延长最大热应力、最大热膨胀逐渐增加。

(3) 通过单井组计算得出最大热膨胀造成套管变形,是诱发蒸汽驱生产井套管变形损坏的主要原因。

## 参考文献:

- [1] Willhite G P. Design criteria for completion of steam injection wells[J]. JPT, 1967, 19(1): 5~21.
- [2] 张允真,贾忠慧,朱翠娥,等. 注蒸汽井的温度场及其套管的热应力[J]. 石油钻采工艺, 1992, 14(4): 59~63.
- [3] 崔孝秉,曹玲,张宏,等. 注蒸汽热采井套管损坏机理研究[J]. 石油大学学报(自然科学版), 1997, 21(3): 57~64.
- [4] 余中红,陈延,杨平阁,等. 注蒸汽吞吐井井筒应力数值计算[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2004, 28(4): 86~89.

编辑 刘兆芝

# 辽河油田摆开难动用储量“大战场”

据了解,辽河油田公司 2007 年重新计算确定探明储量中的难动用和未动用储量为  $4 \times 10^8$  t。辽河油田公司把这部分储量作为油田开发的重要目标之一,提出依靠科技进步,提高难动用储量开发水平,使难动用储量变成现实产量。

近 2 年来,辽河油田公司积极展开稠油、特稠油难动用储量评价,初步掌握分布规律和分布区域,确定西部凹陷产量占油田总量的 70% 以上,又在主力区块边部找到近  $260 \text{ km}^2$  的薄层稠油潜力区。而稀油难动用储量在变质岩潜山、低渗透油藏、外围难动用油藏等领域也取得突破,提供了一批优质井位。其中,茨榆坨油田 631 - 平 2 井在 2m 油层中钻探成功,沈阳油田 628 块 7 口直井平均日产原油达到 10 t/d 以上。

2007 年,辽河油田公司通过对边台潜山、欢 60 等 5 个区块开展评价取得成功,筛选 30 多个单元列入研究计划,预计可增加开发动用储量  $2000 \times 10^4$  t。

辽河油田公司积极应用水平井技术加快难动用储量开发步伐。以精细油藏描述提高水平井部署精度,加强对小油层的深入研究,使水平井的部署极限由单层 6 m 降低到 3 m。水平井技术的不断完善和提高,使薄层水平井钻遇率达到 80% 以上,有效提高了难动用储量的开发水平。其中,8 口水平井使注 70 块  $170 \times 10^4$  t 薄层特稠油储量得以动用。

刘兆芝摘编

void downhole accident due to mal - prediction of pressure

**Key words:** formation pressure; multiwell correlation; sectional optimization; cluster analysis

### **Study and application of nanometer blocking agent in high pressure injectors in Henan Oilfield**

CHEN Yuan<sup>1</sup>, CHEN Xu<sup>2</sup>, LIU Wei - jun<sup>1</sup>

(1. Henan Oilfield Company, SINOPEC, Nanyang, Henan 473132, China;

2. Northeast University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

**Abstract:** After many years of water flooding in Jianghe area of Henan Oilfield, separate water injection shows a trend of multi - stage development. Multi - stage separate injection has low acceptance rate, and it is difficult to control invalid injection. Hence, a nanometer blocking agent has been developed for the simplified string of high pressure injectors by making the advantage of inorganic nanometer active functional material and using laboratory experiment method to perform optimization and evaluation. Field application shows that nanometer blocking agent is a new method for the simplified string of knotty injectors in high - temperature high - pressure and low permeability reservoirs.

**Key words:** nanometer blocking agent; formula optimization; simplified string; low permeability reservoir; Henan oilfield

### **Calculation of the distance to target center in horizontal well**

ZHANG Ji - suo<sup>1,2</sup>, LU Gang<sup>3</sup>, BA IDong - qing<sup>2</sup>

(1. Graduate School of China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Liaohe Petroleum Exploration Bureau, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China;

3. Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China)

**Abstract:** This paper supplements, improves and spreads the calculation of the distance to target center in industrial standard, gives the discriminant conditions and a new algorithm for the measurement section where the entry point to target is located by using the directional distance from point to plane in analytic geometry, and deduces related calculation equations of the entry point to target for cylindrical helical method and minimum - curvature method. This method is of important application value in 3 - D horizontal well drilling quality evaluation and target - entry analysis.

**Key words:** directional well; horizontal well; distance to target center; drilling trajectory; analytic solution

### **Calculation of casing stress of steam flooding wells in Block Q40**

YU Zhong - hong<sup>1,2</sup>, TAN De - ku<sup>2</sup>, ZHENG Cheng - li<sup>2</sup>, CHEN Jie<sup>2</sup>, ZHENG Zhi - chu<sup>1</sup>

(1. Mechanics Research Institute, CAS, Beijing 100080, China;

2. Liaohe Oilfield Company, PetroChina, Panjin, Liaoning 124010, China)

**Abstract:** The temperature field of steam channeling is introduced into borehole stress analysis model. Borehole stress is computed for different constraint conditions with finite element analysis software ANSYS. The result shows that, the maximum thermal stress occurs on inner casing wall and exceeds the thermoelastic yield limit of N80 casing, and the maximum thermal expansion occurs in temperature transition zone. The thermal strain may reach 2% when a reservoir has mud shale as its overburden, which is much higher than the elastic limit strain of 0.3% of the material and is the main reason inducing casing failure in thermal recovery wells.

**Key words:** steam flooding; casing failure; stress field; finite element method; numerical simulation; Block Q40