

doi: 10.11720/wtyht.2020.1116

胡文革, 邹宁, 李丹丹, 等. 断溶体油藏油源深度对井温分布影响的数值模拟[J]. 物探与化探, 2020, 44(4): 748-755. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1116>

Hu W G, Zou N, Li D D, et al. The numerical simulation for the influence of reservoir depth on well temperature in karstic-fault reservoir [J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(4): 748-755. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2020.1116>

断溶体油藏油源深度对井温分布影响的数值模拟

胡文革¹, 邹宁¹, 李丹丹¹, 黄知娟¹, 雷健², 郭宇航², 潘保芝²

(1. 中石化西北油田分公司, 新疆 乌鲁木齐 830012; 2. 吉林大学 地球探测科学与技术学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 塔河油田断溶体油藏蕴藏着丰富的石油资源, 以大型溶洞和裂缝为主要储集空间和流动通道。在对断溶体油藏钻井时常发生泥浆漏失和井眼垮塌, 难以进行常规测井测量, 因而无法进行储层评价, 甚至无法确定油层位置(即油源深度)。温度测井不受井眼条件的影响, 可以测量关井时的静温和生产时的流温曲线, 人们试图通过流静温度差异来推测油源的深度。本文依据断溶体油藏的形态特征和尺寸参数, 构建多种井筒、地层与缝洞的物理模型, 建立受流体流动影响的温度场, 通过数值方法耦合温度场和流动场, 模拟不同断溶体油藏石油生产时, 井筒温度分布的变化。进而通过流温和静温的关系推测断溶体油藏油源位置, 为断溶体油藏进一步的开发提供技术支持。

关键词: 断溶体油藏; 数值模拟; 井温曲线; 油源位置

中图分类号: P631.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2020)04-0748-08

0 引言

塔河油田位于塔里木盆地塔北隆起阿克库勒凸起的南部斜坡区^[1], 在该区域发现了断溶体油藏^[2]。断溶体油藏的储集空间是中一下奥陶统碳酸盐岩层中沿断裂发育的大型洞穴、裂缝及沿缝溶蚀孔洞, 物性圈闭是外围致密碳酸盐岩构成的侧向封挡^[3]。断溶体油藏的石油富集差异化明显, 不同油藏开发效果差异较大, 开发井“高产不稳产”, 产油深度难以确定^[4]。

在断溶体油藏开发过程中, 由于缝洞系统发育, 钻井时常发生大量泥浆漏失与钻具放空的情形。在钻遇大型溶洞时往往封堵效果很差, 这时无法继续钻进, 而被迫完井。常规测井在漏失段和坍塌段都无法测量, 导致生产时油源深度难以确定^[5]。

无论井眼条件如何, 都可以测量井内温度剖面^[6]。井温测井是重要的生产测井方法之一, 通过测量某一深度的井温或沿井剖面的温度变化, 来确定生产油层的深度, 了解井内流体的流动状态。油气生产过程中, 井中温度不仅仅反映测量层段的温度信息, 还受流体来源层段的温度影响^[7]。在关井后非生产时段, 井筒中的温度逐渐与地层温度相同, 这时的井温称为静温; 产液过程对井筒和地层温度分布产生影响, 在稳定生产时的井温, 称为流温^[8]。

由于井筒和地层温度分布受到流体流动的影响, 在断溶体油藏生产过程的温度场模拟中, 需要同时考虑流动和能量传递, 将温度场和流动场耦合计算。井中流体和周围地层通过传导、对流和辐射进行热交换, 其中辐射作用很小可以忽略^[9]。作为断溶体油藏主要的储集空间和生产通道, 大型溶洞、裂缝以及井筒中的流体流动不遵循达西定律, 而是具

收稿日期: 2019-03-12; 修回日期: 2020-05-20

基金项目: 国家重大专项“塔里木盆地碳酸盐岩油气田提高采收率关键技术示范工程”(2016ZX05053); 中石化科研项目“顺北一区采输关键技术研究与应用——顺北一区完井技术研究与应用”(P18022-01)

作者简介: 胡文革(1966-), 男, 博士, 教授级高级工程师, 从事油气田开发研究与管理工。Email: huwg.xbsj@sinopec.com

通讯作者: 雷健(1992-), 男, 吉林大学在读博士研究生, 研究方向为地球物理测井。Email: leijian18@mails.jlu.edu.cn

有管流特征,满足 N-S 方程,因此流体动力学是研究断溶体油藏流动的基础^[10-13]。

计算流体力学(CFD)是研究流体流动和能量传递规律的一种实用方法,利用离散方程描述连续的流动场和温度场,通过数值方法求解整个计算区域的流体性质^[14]。相应的 CFD 商业化软件可以实现模拟过程的可视化和参数精准检测,其中 COMSOL 软件具有强大的流体流动分析能力和多场耦合计算能力。

断溶体油藏是一种新型的石油富集圈闭,对该类油藏的温度分布规律尤其是生产时流温的评价方法还是空白。利用 COMSOL 软件,模拟断溶体油藏的石油生产过程中温度场的变化,进行流体流动场和温度场的耦合,分析不同井筒和溶洞关系时井中流温、静温曲线特征。为利用井中静温和流温差异研究储层与井筒的相对位置提供依据,为断溶体油藏的开发提供帮助。

1 数学物理模型及模拟方法

本文模拟的断溶体油藏生产过程为:①初始状态时,石油储存在溶洞中,温度分布就是地层原始温

度;②钻井开发时,石油以一定的速度从溶洞进入井筒,井筒和周围地层的温度场发生改变,井中温度为瞬态温度;③稳定生产一段时间,井中温度分布达到稳态,不再变化,测得的井中温度为流温曲线;④关井一段时间后,井中温度逐渐恢复到与地层原始温度一致,流体静止,此时为静温。在热平衡建立的过程中,热量在井筒与地层中的传递存在 5 个典型阶段,分别为:原始温度分布被破坏、热量在井筒内做稳定径向导热、热量从井筒向地层传递、热量在地层内做径向导热以及达到热平衡^[15]。本文模拟采取稳态方法,不考虑生产时间和关井时间的影响,直接得到流温、静温曲线。

1.1 物理模型

塔河油田的断溶体油藏规模与断裂的发育密切相关^[16]。图 1 是断溶体油藏在地震图上的形态,可以看出沿着断裂的走向分布的众多溶洞,这些溶洞具有不同的形态。图中标出了 3 口井的位置,这 3 口井均与溶洞直接接触^[17]。唐海^[18]通过分析钻遇溶洞和地震等资料,总结得到了 5 种典型的断溶体油藏形态,每种形态由不同数量和大小的溶洞构成。这些溶洞水平方向较窄,垂向延伸很深,在几何上接近于圆柱,由此本文模拟时采取圆柱形的溶洞形态。

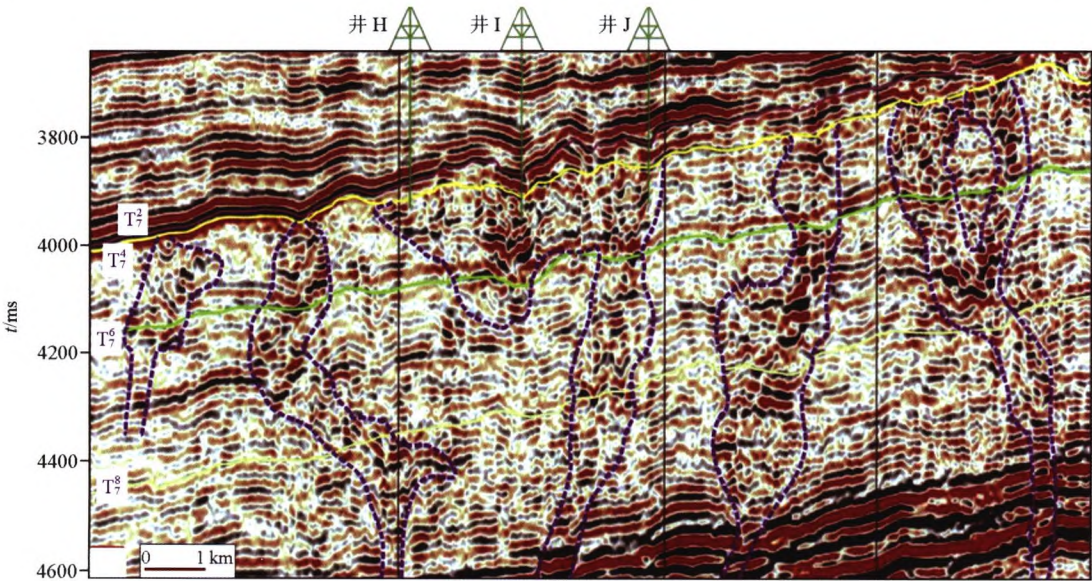


图 1 沿断层的地震图像(图中蓝色虚线区域为溶洞^[17])

Fig.1 Seismic image along the fault(The blue dotted line area in the figure is karst cave^[17])

考虑到生产井与油藏的相对位置存在的多种情况,文中确定了 4 种模型:①只有井筒(图 2a);②井筒与溶洞直接相连(图 2b);③井筒与溶洞通过裂缝相连,溶洞在下方(图 2c);④井筒与溶洞通过裂缝相连,溶洞在井底上方(图 2d)。根据研究区地震剖面等资料确定了模型的几何参数(图 2),溶洞高为

1 000 m,直径为 100 m,钻孔直径为 0.15 m,裂缝宽度为 0.05 m。

1.2 计算方法

利用 COMSOL 软件的流体传热模块进行稳态模拟。假设井筒、裂缝和溶洞中的流动为层流,地层为固体无流体流动,地温梯度恒定,不考虑热辐射。

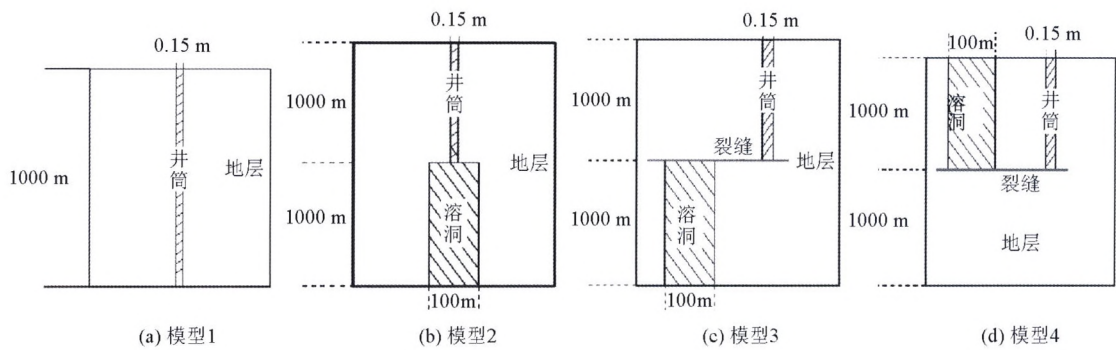


图 2 物理模型示意

Fig.2 Schematic diagram of physical model

通过数值计算和图像显示,对包含有流体流动和热传导等相关物理系统进行分析。文中基于 CFD 采用的基本算法是:用有限个离散点上的温度和速度的集合表示速度场和温度场,通过守恒方程组建立这些离散点上两种场变量之间的代数关系,然后求解代数方程组获得各个离散点上的温度和速度的近似值。

1.2.1 控制方程

在断溶体油藏生产过程的数值模拟中,流体的流动和传热受质量守恒、动量守恒和能量守恒方程控制。

1) 流体流动方程

动量守恒

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = \nabla \cdot [-p + \mu(\nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T)] + \mathbf{F}$$
(1)

质量守恒

$$\rho \nabla \cdot (\mathbf{u}) = 0。$$
(2)

2) 传热方程

能量守恒

$$\rho C_p \mathbf{u} \cdot \nabla T + \nabla q = Q，$$
(3)

$$q = -k \nabla T，$$
(4)

式中: ρ 为流体密度, $\text{kg} \cdot \text{cm}^{-3}$; $\mathbf{u}$ 为流动速度, $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; μ 流体粘度, $\text{Pa} \cdot \text{s}$; p 压力, Pa ; C_p 为恒压热容, $\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; q 热通量, $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; k 为导热系数, $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$; T 为温度, $^\circ\text{C}$; $\mathbf{F}$ 表示体积力, Q 表示热源。文中不考虑重力等的影响, $\mathbf{F} = 0$; 没有内部热源, $Q = 0$ 。

1.2.2 边界条件

地层的外边界保持原始地温分布, $T_\Omega = T_0 + g_T \cdot h$;

流动入口在溶洞底部, $T_{\text{in}} = T_0 + g_T \cdot h, \mathbf{u}_{\text{in}} = \nu$;

流动出口在井筒顶部 $p_{\text{out}} = 0$;

式中: T_Ω 为地层边界温度, $^\circ\text{C}$; T_0 地面温度, $^\circ\text{C}$; g_T

为地温梯度, $^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$; h 为地层深度, m ; T_{in} 为入口处流体温度, $^\circ\text{C}$; $\mathbf{u}_{\text{in}}$ 为入口处流体速度, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$; ν 为流体流入溶洞速度, $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$; p_{out} 为出口压力, Pa 。相关的模拟参数见表 1。图 3 为原始地温分布图,代表了静温的分布。

表 1 模拟参数

Table 1 Simulation parameters

名称	符号	单位	值
石油密度	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	793.6
石油恒压热容	C_p	$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	2200
石油粘度	μ	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	0.002
石油导热系数	k	$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	1
地层密度	ρ_f	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	2715
地层恒压热容	C_f	$\text{J} \cdot (\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	700
地层导热系数	k_f	$\text{W} \cdot (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	3.1
地温梯度	g_T	$^\circ\text{C} \cdot \text{m}^{-1}$	0.01818
地面温度	T_0	$^\circ\text{C}$	23
石油流入速度	ν	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	1.39

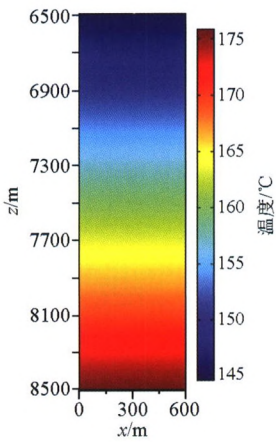


图 3 地层的初始状态

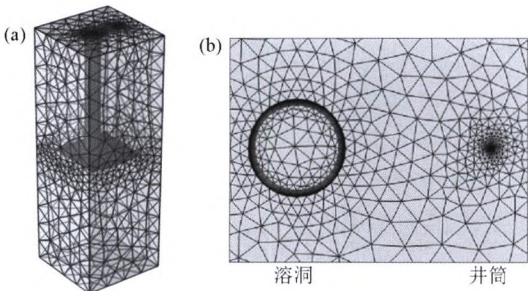
Fig.3 Initial state of formation

1.3 模拟方法

1.3.1 网格剖分

在数值模拟中,物理模型的网格剖分精度对于

计算结果有重要影响,COMSOL 软件自带的网格剖分模块具有强大的功能,可以适应各种复杂模型。网格的剖分越细,模拟结果越精确,但是会增加网格数量,导致计算机内存需求和运算时间的增加^[19]。由于井筒直径、溶洞直径与地层直径的几何尺寸相差较大,本文采取分区域的网格剖分方法,即井筒、溶洞、裂缝和地层等不同区域的网格大小不同。将井筒、裂缝和溶洞部分的网格进行更密集的剖分,而地层部分采取较粗的剖分,通过在不同区域的连接处设置边界层实现地层与井筒等的耦合,图 4 为其中模型 4 的网格剖分。



a—整体剖分网格;b—溶洞和井筒的局部网格
a—global;b—karst cave and wellbore

图 4 模型 4 的网格剖分

Fig.4 Grid generation of model 4

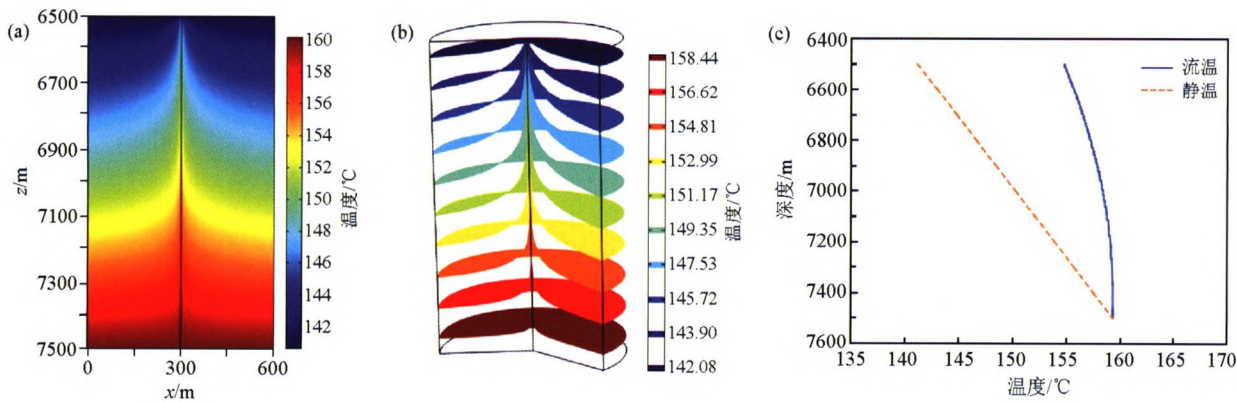
1.3.2 温度场求解方法

由于石油流动和温度场相互影响,在模拟中需

要考虑温度场和流动场的耦合问题。本文采用了 COMSOL 自带的稳态分离式求解器,该求解器在解决稳态多物理场问题时有良好的效果^[20]。求解步骤如下:首先假设初始的压力分布求解方程(1)得到速度分量;再将速度分量代入方程(2),检验速度求解是否正确;如果正确,将速度分量代入方程(3)和(4)求解温度场;如果不正确,使用压力修正,重新计算速度,直到得到满足精度要求的解(具体的计算过程参见文献[21])。

2 模拟结果分析

图 5 是只有井筒时(模型 1)的温度分布和井温曲线。模型参数如下:井筒直径 0.15 m,地层直径 600 m,井筒长度 1 000 m,井底位置在 7 000 m。石油自井底流入井筒,流入时石油的温度与地层温度一致,此时井底流温和静温均为 159.35℃。石油在井筒垂向热量对流传递效率远大于径向与地层的热传递。这样就导致生产时,井筒内的温度大于地层温度,高温石油将靠近井筒的地层加热,地层温度亦升高;稳定生产一段时间,地层温度和井筒内石油温度达到平衡,此时的温度分布如图 5a 和图 5b,井筒内的流温曲线如图 5c 所示。可见流温与静温曲线在井底是一致的,向上流温逐渐大于静温。



a—温度分布切面;b—温度三维分布;c—井温曲线

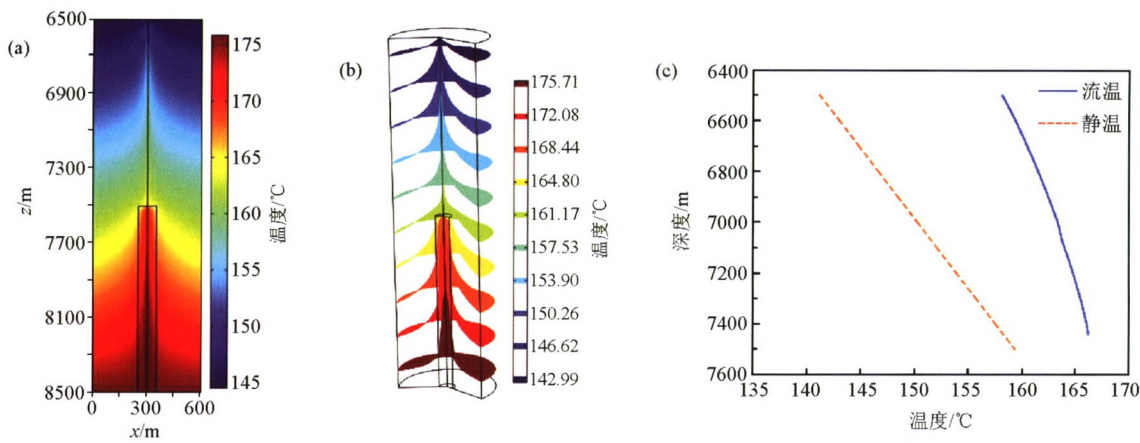
a—section diagram of temperature distribution;b—three dimensional distribution of temperature;c—well temperature curve

图 5 只有井筒时(模型 1)的温度分布和井温曲线

Fig.5 The temperature distribution and well temperature curve of the wellbore(model 1)

图 6 是溶洞在井筒下方时(模型 2)的温度分布和井温曲线。模型参数为:井筒直径 0.15 m,地层直径 600 m,地层纵向厚度为 2 000 m 井筒长度 1 000 m,溶洞直径 100 m,长度 1 000 m,井底位置在 7 000 m,井底静温为 159.35℃。石油在溶洞中流动时,由

于与地层的接触面较小,且地层和石油的温差较小,溶洞中的石油冷却较慢,最终以较高的温度进入井筒,井底流温为 166.23℃。对比只有井筒时(模型 1)的情况,存在溶洞时井底出现了较大的温度差异,且流温大于静温。



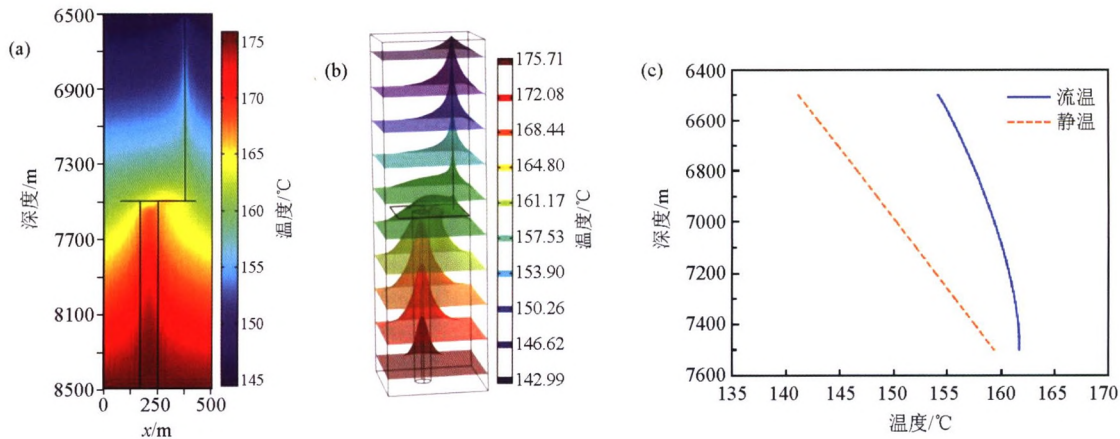
a—温度分布切面;b—温度三维分布;c—井温曲线
a—section diagram of temperature distribution;b—three dimensional distribution of temperature;c—well temperature curve

图 6 溶洞在井底下方(模型 2)的温度分布和井温曲线

Fig.6 The temperature distribution and well temperature curve when the cave is below the well-bottom (model 2)

图 7 是溶洞在井底下方,通过裂缝与井筒相连时(模型 3)的温度分布和井温曲线。模型参数为:井筒直径 0.15 m,地层水平方向长宽均为 500 m,地层纵向厚度为 2 000 m,井筒长度 1 000 m,溶洞直径 100 m,长度 1 000 m,裂缝宽度为 0.05 m,井底位置在

7 500 m,井底静温为 159.35℃。石油通过裂缝进入井底时的流温为 161.74℃。对比只有井筒时(模型 1)的情况,井底温度差异较小,流温略大于静温。对比井筒直接与井筒相连的情况(模型 2),模型 3 井筒中的流静温差较小。



a—温度分布切面;b—温度三维分布;c—井温曲线
a—section diagram of temperature distribution;b—three dimensional distribution of temperature;c—well temperature curve

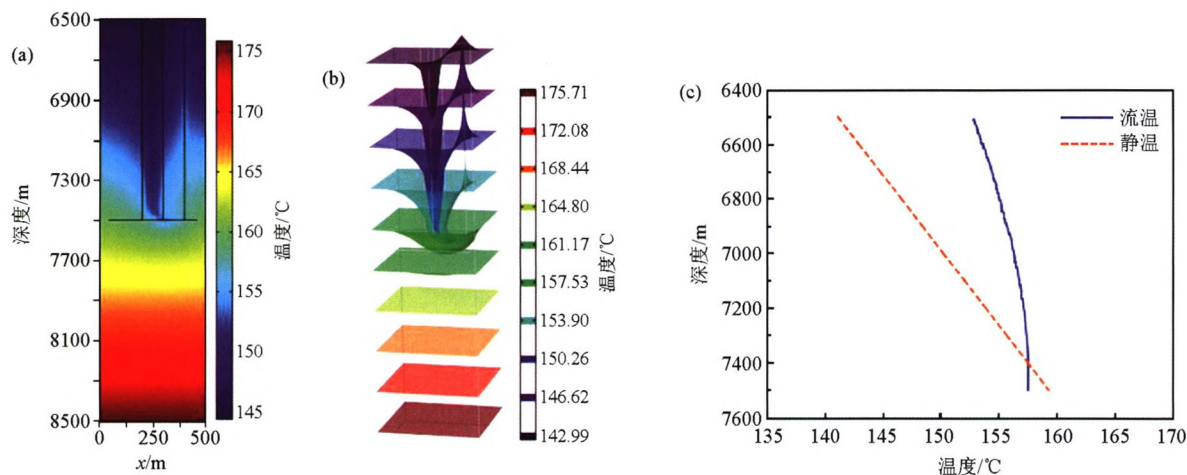
图 7 溶洞在井底下方(模型 3)的温度分布和井温曲线

Fig.7 The temperature distribution and well temperature curve when the cave is below the well-bottom (model 3)

图 8 是溶洞在井底上方时(模型 4)的温度分布和井温曲线。模型参数为:井筒直径 0.15 m,地层水平方向长宽均为 500 m,地层纵向厚度为 1 600 m,井筒长度 1 000 m,溶洞直径 100 m,长度 1 000 m,裂缝宽度为 0.05 m 井底位置在 7 500 m,井底静温为 159.35℃。由于溶洞在井底上方,温度较低的石油先向地层深部流动,逐渐被加热,但温度尚未上升到与地层温度一致即通过裂缝进入井筒。通过裂缝进入井筒时井底流温小于静温,井底流温为 157.63℃。

3 实际井温分析

不同深度石油从溶洞进入井筒时的温度不同,测得的流温曲线也不同,图 9 是研究区 A 井和 B 井的实测和模拟流温、静温曲线,两口井在钻井和完井中均出现了泥浆漏失,目前均已稳定生产,产量约为 90 t/d。使用表 1 的参数,结合已知的井底深度和产量数据,选择流温曲线形态相似的模型进行模拟。



a—温度分布切面;b—温度三维分布;c—井温曲线
a—section diagram of temperature distribution;b—three dimensional distribution of temperature;c—well temperature curve

图 8 溶洞在井底上方(模型 4)的温度分布和井温曲线
Fig.8 The temperature distribution and well temperature curve when the cave is at the above of the well-bottom (model 4)

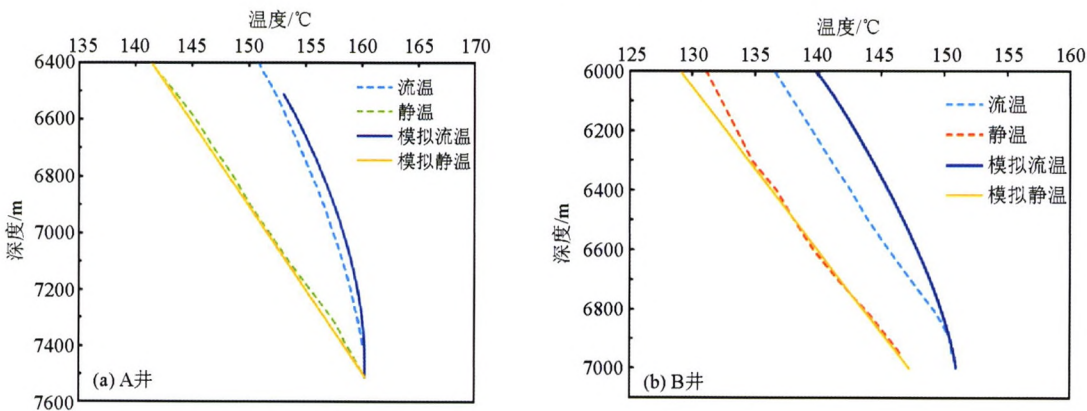


图 9 实测与模拟井温曲线对比
Fig.9 Comparison of measured and simulated well temperature curves

结果如下:A 井井底在 7 400 m,温度160.114℃,此深度的静温为 158.733℃,温差 1.381℃,该井的流温曲线形态与模型 1 相似,模拟结果显示该井的油源深度在 7 510 m。B 井井底在 6 950 m,此深度的实测流温为 150. 947℃,静温为 146. 56℃,温差 4.387℃,该井的井底流静温差较大,形态与模型 2 的模拟结果相似,推断溶洞在井孔下方,依据油源深度为 7 500 m 时的模拟结果(图 9b 的蓝色实线),推测该井的油源深度为 7 500 m。

4 结论

断溶体油藏作为一种新型的石油富集圈闭,急需有效的测井评价方法,以确定储层深度。文中通过对不同井筒和溶洞相对位置设置不同的断溶体模

型,模拟了受石油流动影响的温度场,发现利用井中流温、静温曲线可以确定断溶体油藏储层位置。当产油层位于井底时,井底的流温、静温一致;当石油产自井底上方时,井底流温小于静温;当石油产自井底下方时,井底流温大于静温。通过实测的流温与静温曲线的形态,可以推断合适的溶洞—井模型,结合油井的生产数据通过数值模拟计算出油源位置。在之后的研究中需要进一步确定流温曲线与油源位置的定量关系,以便更快捷地确定油源深度和溶洞大小等信息。

参考文献 (References) :

[1] 杨德彬.塔河油田断溶体油藏地震反射特征类型及规律[J].石化技术,2018,25(4):121-122.
Yang D B.Type and regularity of the seismic reflection characteristic of fault-karst carbonate reservoirs in the Tahe oilfield[J].Petro-

- chemical Industry Technology, 2018, 25(4): 121 - 122.
- [2] 焦方正.塔里木盆地顺北特深碳酸盐岩断溶体油气藏发现意义与前景[J].石油与天然气地质, 2018, 39(2): 207 - 216.
Jiao F Z. Significance and prospect of ultra-deep carbonate fault-karst reservoirs in Shunbei area, Tarim Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2018, 39(2): 207 - 216.
- [3] 鲁新便, 胡文革, 汪彦, 等.塔河地区碳酸盐岩断溶体油藏特征与开发实践[J].石油与天然气, 2015, 36(3): 347 - 355.
Lu X B, Hu W G, Wang Y, et al. Characteristics and development practice of fault-karst carbonate reservoirs in Tahe area, Tarim Basin[J]. Oil and Gas Geology, 2015, 36(3): 347 - 355.
- [4] 常少英, 庄锡进, 邓兴梁, 等.断溶体油藏高效井预测方法与应用效果——以 HLHT 油田奥陶系潜山区为例[J].石油地球物理勘探, 2017, 52(s1): 199 - 206.
Chang S X, Zhuang X J, Deng X L, et al. Fault-karst carbonate reservoir prediction: a case study in Ordovician buried hills, HLHT Oilfield[J]. Oil Geophysical Prospecting, 2017, 52(s1): 199 - 206.
- [5] 甘秀娥.利用测井资料评价钻井液漏失层[J].测井技术, 2002(6): 474 - 477.
Gan X E. Evaluation of mud loss while drilling by using temperature logging and imaging logging data[J]. Well Logging Technology, 2002(6): 474 - 477.
- [6] Pan B Z, Li D, Chen G, et al. Numerical simulation of wellbore and formation temperature fields in carbonate formations during drilling and shut-in in the presence of lost circulation[J]. Petroleum Science, 2014, 11(2): 293 - 299.
- [7] 高鹏.井温测井数值计算[D].长春:吉林大学, 2007.
Gao P. Numerical computation of temperature logging[D]. Changchun: Jilin University, 2007.
- [8] 陈刚.碳酸盐岩储层温度特征及温度测井资料应用研究[D].长春:吉林大学, 2013.
Chen G. Research of temperature characteristics in carbonate reservoirs and temperature logging data applications[D]. Changchun: Jilin University, 2013.
- [9] 宋延杰, 石颖.注聚合物井井下温度分布数值模拟研究[J].地球物理学进展, 2007, 22(5): 1533 - 1538.
Song Y J, Shi Y. Numerical simulation of downhole temperature distribution in polymer injection well[J]. Progress in Geophysics, 2007, 22(5): 1533 - 1538.
- [10] 卢占国.缝洞型介质流体流动规律研究[D].青岛:中国石油大学(华东), 2010.
Lu Z G. Fluid flow law in fractured vuggy media[D]. Qingdao: China University of Petroleum (East China), 2010.
- [11] 李爱芬, 张东, 姚军, 等.缝洞单元注水开发物理模拟[J].中国石油大学学报:自然科学版, 2012, 36(2): 130 - 135.
Li A F, Zhang D, Yao J, et al. Physical simulation of water flooding in fractured-vuggy unit[J]. Journal of China University of Petroleum: Natural Science, 2012, 36(2): 130 - 135.
- [12] 王雷, 窦之林, 林涛, 等.缝洞型油藏注水驱油可视化物理模拟研究[J].西南石油大学学报:自然科学版, 2011, 33(2): 121 - 124.
Wang L, Dou Z L, Lin T, et al. Study on the visual modeling of water flooding in carbonate fracture-cavity reservoir[J]. Journal of Southwest Petroleum University: Natural Science, 2011, 33(2): 121 - 124.
- [13] 侯吉瑞, 李海波, 姜瑜, 等.多井缝洞单元水驱见水模式宏观三维物理模拟[J].石油勘探与开发, 2014, 41(6): 717 - 722.
Hou J R, Li H B, Jiang Y, et al. Macroscopic three-dimensional physical simulation of water flooding in multi-well fracture-cavity unit[J]. Petroleum Exploration and Development, 2014, 41(6): 717 - 722.
- [14] 雷健.基于数字岩心的致密砂岩微观渗流模拟[D].长春:吉林大学, 2018.
Lei J. Microscopic flow simulation of tight sandstone based on digital core[D]. Changchun: Jilin University, 2018.
- [15] 宋戈.气井井筒瞬态温度压力耦合模型研究[D].成都:西南石油大学, 2015.
Song G. Study on transient temperature pressure coupling model of gas wellbore[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2015.
- [16] 鲍典, 张慧涛.塔河油田碳酸盐岩断溶体油藏分隔性描述方法研究[J].新疆石油天然气, 2017, 13(1): 25 - 30.
Bao D, Zhang H T. Description of the separation in fault-karst carbonate reservoirs in Tahe oilfield[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2017, 13(1): 25 - 30.
- [17] Lu B X, Wang Y, Tian F, et al. New insights into the carbonate karstic fault system and reservoir formation in the Southern Tahe area of the Tarim Basin[J]. Marine and Petroleum Geology, 2017(86): 587 - 605.
- [18] 唐海, 何娟, 荣元帅, 等.塔河断溶体油藏典型断溶体注水驱替规律及剩余油分布特征[J].油气地质与采收率, 2018, 25(3): 95 - 100.
Tang H, He J, Rong Y S, et al. Study on water drive law and characteristics of remaining oil distribution of typical fault-karst in fault-karst reservoirs, Tahe Oilfield[J]. Petroleum Geology and Recovery Efficiency, 2018, 25(3): 95 - 100.
- [19] 唐杰, 熊彬.基于 COMSOL 软件的非结构化网格下的二维大地电磁正演模拟[J].工程地球物理学报, 2018, 15(3): 347 - 356.
Tang J, Xiong B. The simulation of unstructured grid two-dimensional magnetotelluric forward modeling based on COMSOL software[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2018, 15(3): 347 - 356.
- [20] 马慧, 王刚. COMSOL Multiphysics 基本操作指南和常见问题解答[M].北京:人民交通出版社, 2009.
Ma H, Wang G. Basic operating guide and frequently asked questions for COMSOL Multiphysics[M]. Beijing: People's Communications Publishing, 2009.
- [21] 张德良.计算流体力学教程[M].北京:高等教育出版社, 2010.
Zhang D L. Computational fluid dynamics course[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.

The numerical simulation for the influence of reservoir depth on well temperature in karstic-fault reservoir

HU Wen-Ge¹, ZOU Ning¹, LI Dan-Dan¹, WANG Zhi-Juan¹, LEI Jian², GUO Yu-Hang², PAN Bao-Zhi²

(1. Sinopec Northwest Oilfield Company, Urumqi 830012, China; 2. College of GeoExploration Science and Technology, Jilin University, Changchun 130026, China)

Abstract: The carbonate karstic-fault oil-bearing reservoir is rich in oil resources storage, and large karst caves and fractures are the main reservoir space and flow channels. There are mud leakage and hole collapse in the drilling process, so it is difficult to carry out conventional logging measurement, and reservoir evaluation or even reservoir depth (i.e. oil source location) can not be determined. Temperature curve is often used in production logging, and it is not affected by borehole condition and it can reflect the depth of the reservoir. Based on the morphological characteristics and size of karstic-fault reservoir, the authors constructed the geometric models of wellbore, formation, fracture and cave, and simulated the variation of wellbore temperature in the production of karstic-fault reservoir by numerical simulation method. The simulation results were analyzed, and then the oil source depth of karstic-fault reservoir was estimated by well temperature curve, which provides technical support for further development of karstic-fault reservoir.

Key words: karstic-fault reservoir; numerical simulation; well temperature curve; reservoir depth

(本文编辑:叶佩)

· 书讯 ·

《全国重要成矿区带航磁调查成果图集》简介

由范正国、黄旭钊、熊盛青等主编的《全国重要成矿区带航磁调查成果图集》,是“秦岭及天山等重点成矿区带航空物探调查”二级项目研究丛书,是一部对中国陆域和 26 个重要成矿区带的航磁工作程度、航磁异常特征、航磁推断岩性构造及航磁推断铁矿预测区等进行宏观论述的专著,已由地质出版社正式出版发行。

《全国重要成矿区带航磁调查成果图集》以截至 2015 年完成的实测航磁资料及其解释成果为基础编制。内容包括:中国陆域航磁测量工作程度图、中国陆域和重要成矿区带航磁系列图、航磁异常分布图、航磁推断岩性构造图和航磁推断铁矿预测区分布图及其简要说明,具有使用资料新、编图方法技

术新、图件种类齐全、内容全面等几大主要特点。该系列图件系统地展示出我国陆域区域磁场信息以及航磁反映的断裂、磁性岩浆岩、磁性变质岩、磁性铁矿资源潜力等特征,对研究中国陆域和重要成矿区带的地质构造、成矿规律、工作部署、矿产调查等提供了重要依据。

《全国重要成矿区带航磁调查成果图集》是专业性较强的成果图集,涵盖内容较广,可供从事地质找矿工作、成矿规律研究、矿产资源潜力评价和预测以及矿产勘查工作部署管理人员、基础地质与矿产等调查单位以及地学研究者参考与使用,对促进我国矿产勘探进程和地学研究的深入具有重要价值。

(中国自然资源航空物探遥感中心 黄旭钊)