

三维地质建模及油藏数值模拟一体化剩余油分布规律研究

吴忠宝¹, 康丽侠², 王改娥²

(1. 中国地质大学能源学院, 北京 100083; 2. 中国石油股份长庆油田分公司 采油四厂, 陕西 榆林 718500)

摘 要 剩余油分布规律研究一直是中后期油田开发的研究重点和难点, 研究方法也多种多样。针对马岭油田中一区的开发特点, 采用三维地质建模和油藏数值模拟一体化技术研究思路, 在构造特征研究、精细地层对比、沉积相研究和流动单元研究的基础上, 建立了中一区延长组到富县组的三维立体地质模型, 从而为油藏数值模拟提供了初始静态地质模型。在历史拟合的基础上通过精细油藏模拟方法进行了油藏剩余油分布模拟计算, 并结合沉积相和流动单元分析了剩余油分布规律, 从而为油田下步方案调整提供了挖潜方向。

关键词 剩余油分布; 沉积相; 流动单元; 三维地质建模; 油藏数值模拟

马岭油田中一区地处甘陕古河南侧, 属于河流相沉积的岩性-构造油藏。沉积物主要由自西南流向东北的贺旗古河搬运而来, 含油层系为侏罗系延安组, 从上到下有延 4+5、延 6、延 7、延 8、延 9、延 10、富县等 7 个油组, 地层总厚度约 200~250 m。马岭油田中一区储层在纵向上分布井段多、层数多, 各层的渗透性及其组合类型差异很大; 平面上砂体的沉积类型多、几何形态变化大。纵向和平面非均质性都很严重。中一区于 1970 年发现, 1979 年全面投入开发。历经 30 余年的开发, 目前为止, 已在该区完钻各类探井、开发井约 419 口。由于该区多油层叠合, 分层采出程度不均, 工程报废原因关井较多, 注水关系复杂, 注采井网不完善, 剩余油分布不清, 因此需要通过精细油藏描述定性、定量研究分油层组各流动单元剩余油展布方向及分布规律, 为下步开发调整部署提供可靠依据。

1 中一区三维精细地质建模

1.1 构造特征

马岭油田位于鄂尔多斯盆地东南部, 天环向斜东翼。侏罗系盖层沉积于三叠系延长组顶部风化壳之上。三叠纪末期, 印支运动使盆地整体抬升, 延长组遭受风化剥蚀和切割, 古地形高低起伏, 古河道、古残丘纵横分布; 到侏罗纪盆地整体下降, 延安组早期地层沿河谷以填平补齐的方式层层超覆于古残丘周围; 延 10 末期, 沟谷基本填平, 延 9 及以上地层广布其上, 差异压实结果, 形成了与古潜山、古残丘基本一致的披覆翼

状构造。构造向西倾没, 向东抬升, 近东西向, 构造面积约 200 km², 闭合面积 20 km², 闭合高度 20~30 m, 地层倾角 4~10°。

1.2 精细地层对比

采用电性对比(即测井组合曲线)的方法, 结合岩心及开发动态资料, 建立中一区标准地层对比剖面。依据标准剖面井, 全区含油层系目的层从上到下划分为延 4+5、延 6、延 7、延 8、延 9、延 10、富县共 7 个油层组, 28 个油砂体, 主力油层组延 9、延 10 砂体连片程度高, 储层物性较其他砂层组好, 为本文研究重点。

1.3 沉积相分析

鄂尔多斯盆地在侏罗纪时为内陆拗陷盆地, 属陆相沉积, 主要包括冲积扇、河流、河湖等沉积相。在本课题的研究中, 我们运用了岩性沉积构造相序等沉积学标志、古生物学标志和测井相标志作为沉积相划分的主要依据^[1]。

通过对前人大量实证资料的研究, 结合区域上野外剖面、岩芯及本区测井相分析, 并依据上述沉积相划分标志, 认为马岭地区侏罗系中、下统富县组、延安组沉积相为河流、河湖三角洲两大相, 各自又可划分出不同的亚相和微相。富县组以发育河流相为主, 延安组则以发育河流、河湖三角洲为特点。

1.4 储层流动单元研究

流动单元研究在油田开发中后期的精细油藏描述中具有重要的实际意义。

流动单元划分与描述储层内的流动单元是受沉积

过程中的水动力条件控制的,它与储层的地质特征(如岩石成分、结构、沉积构造等因素)有关,还与储层岩性、物性特征(如孔隙度、渗透率、毛管压力等)有关。通过分析马岭油田 59 口井的岩心数据及压汞资料,发现 Φ_z 、RQI、FZI、 Φ_R [$\Phi_R = \Phi_e^3 / (1 - \Phi_e)^2$] 与平均孔喉半径和排驱压力及分选系数之间相关性很好(见表 1)。

表 1 中一区流动单元参数及物性特征

Table 1 Parameters and physical features of flowing units in M-1 area

流动单元	FZI 范围	Φ_z 平均值	RQI 平均值	孔隙度 /%	渗透率 / $10^{-3} \mu\text{m}^2$
I 类	> 5	0.2	0.86	16	20 ~ 500
II 类	3 ~ 5	0.18	0.4	15	10 ~ 85
III 类	1 ~ 3	0.17	0.25	14	5 ~ 50
IV 类	0 ~ 1	0.13	0.12	11	0 ~ 25

根据中一区地质及开发情况,利用该区取心分析资料,进行储层流动单元的划分。由各井取心分析的孔隙度、渗透率资料,计算每个样本点的 Φ_z 、RQI、FZI、 Φ_R ,进行 Q 型聚类分析。该区储层可以分为 4 个具有不同渗流特性的流动单元。流动单元 I 类为该区储集性能最好的流动单元类型,以中孔、中高渗、粗喉型含砾粗砂岩、粗砂岩及中砂岩为主,主要分布于河道的主流线以及心滩和边滩区域上;流动单元 II 类为该区储集性能较好的流动单元类型,以中孔、中喉含砾粗砂岩以及中砂岩、细砂岩为主,主要分布于河床滞留沉积、心滩沉积以及边滩沉积;流动单元 III 类为该区储集性能较差的流动单元类型,以低孔、细喉型砂质含砾粗—中砂岩和细砂岩为主,主要分布于漫滩沉积,部分分布在河床滞留沉积、心滩沉积以及边滩沉积储层的物性较差的地方;流动单元 IV 类为该区储集性能很差的流动单元类型,以低孔、低渗、细喉型含泥质细砂岩、泥质砂岩以及粉砂岩为主,主要为漫滩、河间洼地沉积以及沼泽区域分布。

1.5 储层三维地质建模

在前期地质研究的基础上,综合坐标数据、分层数据、储层数据及测井二次解释成果,运用确定性建模和随机性建模相结合的方法,用 Gocad 三维地质建模软件建立了地层构造格架模型、沉积相模型和储层物性参数模型^[2,3]。

2 油藏数值模拟剩余油分布计算

2.1 网格系统

中一区建模网格为 $213 \times 284 \times 219 = 13\,247\,748$,这个网格是目前数模软件无法处理的。综合各方面考虑,粗化网格平面网格距离设计为 50 m,纵向网格平均距离为 3 m,网格总数为 $104 \times 160 \times 111 = 1\,847\,040$,能够满足要求的模拟精度。

2.2 生产动态拟合

2.2.1 储量拟合

中一区延安组延 6 至富县油藏地质储量为 1931 万吨,数值模拟计算储量为 1981.863 万吨,绝对误差 50.86 万吨,相对误差为 2.57%。

2.2.2 采油量拟合

采油量拟合中,充分考虑到压裂酸化措施及尽可能利用地层测试资料,通过修改压裂酸化后油水井附近的地层渗透率,采油量才能得到较好的拟合。由于中一区单井开采历史较长,少数生产井产量计量误差较大,拟和效果较差。289 口采油井中,261 口井达到完全拟合,拟合率 90%。

2.2.3 含水率拟合

通过整体相渗曲线和局部相渗曲线的调整,以及含水饱和度场和井间连通性的修正,油藏整体含水率和单井含水率均达到较好拟合。油藏总体含水率绝对误差控制在 4.6% 以内,实现了既定目标,尤其在拟合后期含水率绝对误差减小到 1% 以内,为模拟预测奠定了良好的基础。289 口油井中,256 口生产井的含水率走势与实际含水率基本一致,单井含水率拟合程度达 88.5%。

2.2.4 压力拟合

压力拟合是一个相对的参数调整,通过渗透率调整、井间连通性修正及包括有效厚度、孔隙度、含水饱和度和等多参数综合调整,中一区绝大部分有测压资料井的模拟地层压力走势与实测地层压力走势基本一致。

2.3 剩余油分布模拟运算

历史拟合成功后,对中一区延 6—富县总计 6 个油层组,111 个模拟层进行剩余油饱和度计算,同时根据 111 个模拟层结果叠合成 28 个流动单元剩余油饱和度分布图。

3 剩余油分布规律研究

3.1 不同沉积微相类型剩余油分布特征

中一区沉积类型富县期和延安期 Y10—Y4+5 河流沉积,分为低弯度砾砂质河流相和网状砂质河流相,细分了 15 个沉积微相。储层平面和层间非均质性严重,油田进入中高含水期,地下水分布日趋复杂。为

此,从储层的成因特征入手,依据各类砂体特定的沉积规律,借鉴于储层建筑结构分析和非均质性分析的研究思路,精细描述各类砂体不同微相的组合关系、砂体几何形态。根据中一区油藏精细描述结果,总结出不同沉积微相类型剩余油的分布特征如下:

中高含水期剩余油分布总体上在空间和平面上较为分散,但砂体的微相组合、几何形态和连通状况对剩余油的分布起着重要的控制作用,不同砂体具有特定的剩余油分布规律^[4]。

沉积微相控制着注入水在油层中的运动,是影响剩余油平面分布的主要因素。由于河流的改道、废弃、决口泛滥等沉积作用的影响,河流相储层砂体形态不规则,砂体上下叠置致使注入水无法整体推进,使得水体绕过未连通的河道砂体,形成在主河道内的剩余油分布。由于砂体间的接触关系复杂多变,河道间为低渗透的河间薄层砂或泥岩所充填,或被废弃河道遮挡等,这些部位及其附近也是剩余油富集的有利场所。

3.1.1 延6—延9沉积类型剩余油分布特征

从延6—延8剩余油分布图上来看,剩余油分布主要以窄条带、陀状形式分布,连片性差。根据延6—延8沉积区剩余油分布与沉积微相对比分析,剩余油主要分布在天然堤、决口扇等微相内。在本区由于河道分布的非均质性复杂,河道改道、废弃期次较多,在废弃河道、季节性河道区域也存在部分剩余油。

延9沉积期,剩余油主要分布在季节性河道、决口扇微相,其次在天然堤微相较富集。由于注采井网不完善,工程关井多,造成剩余油富集在河道等原因,主要分布于延9²、延9³小层(图1、2)。

3.1.2 延10—富县沉积类型剩余油分布特征

从延10—富县剩余油分布图上来看(图3、4),其中延10¹、延10³、F³小层剩余油分布较多,延10²、延10⁴小层水淹程度高,含油饱和度较低;F²、F⁴~F⁷受砂体和古高地控制,含油面积小,注采井网不完善,剩余油分布较少。从沉积类型上看,剩余油主要分布在边滩、漫滩微相内,其次为洪泛砂质河道微相较富集。

3.2 主力油层延9、延10油组流动单元分类与剩余油分布规律

3.2.1 流动单元I类与剩余油分布关系

由于流动单元I类相对大孔道发育,在该区属中孔、中高渗带,目前大部分油层属中、强水淹。从生产动态资料看,该区大部分井由于物性好,单井产量较高,因此累计产油量高,多数已经关井。但受平面及纵向非均质性的影响,无井点控制区、未水驱波及区仍存

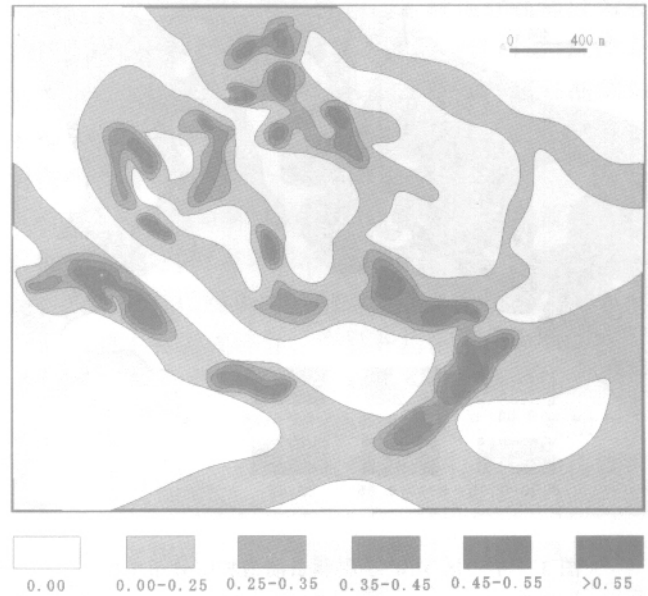


图1 中一区Y9²小层剩余油饱和度分布平面图

Fig. 1 Planimetric map of residual oil distribution in the Y9² layer of M-1 area

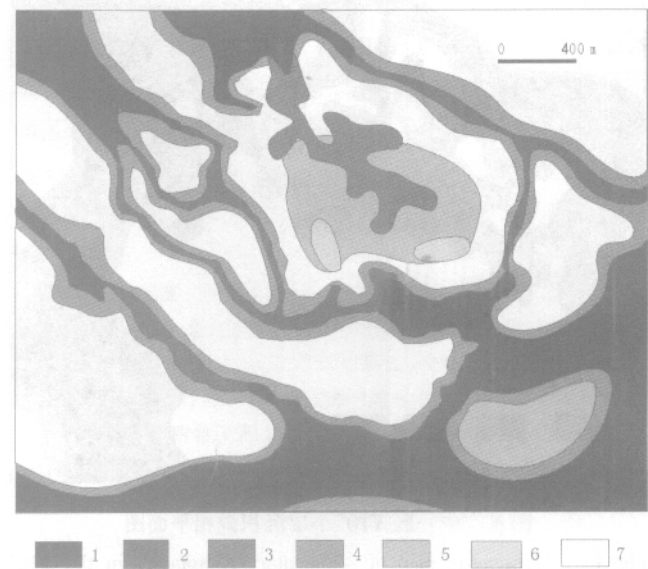


图2 中一区Y9²小层沉积微相平面图

Fig. 2 Planimetric map of sedimentary microfacies in the Y9² layer of M-1 area

1—主河道微相(main stream channel microfacies); 2—季节性河道微相(seasonal channel microfacies); 3—决口扇微相(splay microfacies); 4—天然堤微相(natural levee microfacies); 5—沼泽微相(marsh microfacies); 6—河漫滩微相(flood land microfacies); 7—浅水湖泊(shallow lake)

在剩余油相对集中的部分(图5、6)。

3.2.2 流动单元II类与剩余油分布关系

流动单元II类为该区储集性能较好的流动单元类型,这类流动单元主要分布于河床滞留沉积、决口扇以

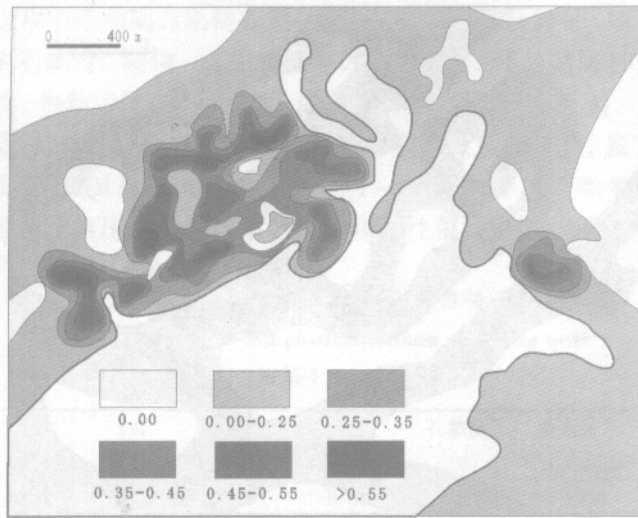


图 3 中一区 Y10³ 小层剩余油饱和度分布平面图

Fig. 3 Planimetric map of residual oil distribution in the Y10³ layer of M-1 area

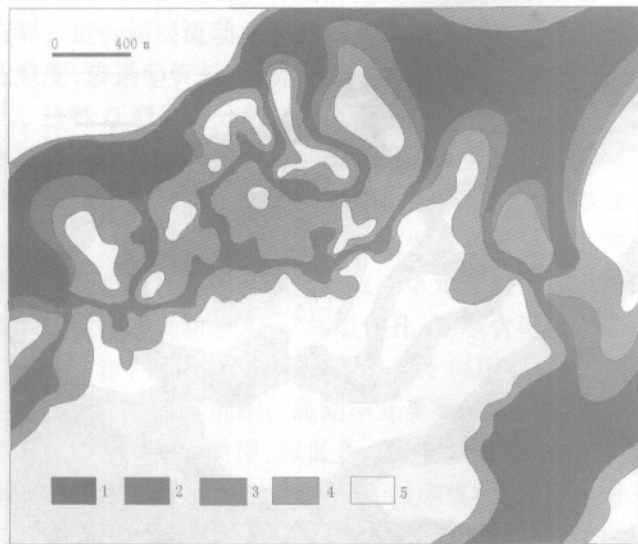


图 4 中一区 Y10³ 小层沉积微相平面图

Fig. 4 Planimetric map of sedimentary microfacies in the Y10³ layer of M-1 area

1—洪泛砂质河道微相 (floodplain sandy channel microfacies); 2—砾砂质河道微相 (sandy channel microfacies); 3—边滩微相 (point bar microfacies); 4—漫滩微相 (flood plain microfacies); 5—古高地 (ancient highland)

及边滩沉积。该类储层物性较好,原始含油饱和度较高,目前水淹程度相对较低,一部分未遭受水淹,仍含有一定的剩余油量,是目前油田生产的主要井区,也是剩余油富集的主力区(图 5、6)。

3.2.3 流动单元Ⅲ类与剩余油分布关系

流动单元Ⅲ类,主要分布于漫滩沉积,部分分布在河床滞留沉积、心滩沉积以及边滩沉积储层的物性较

差的地方。目前部分已水淹,但水淹程度低,也有一部分未遭受水淹,平面上仍存在剩余油相对集中的部分(图 5、6)。该区储层物性相对较差,含油性也较差,试油产量较低,一般无自然产能,需要压裂改造才能出油,因而动用程度也较差。有些差油层没有射孔生产,

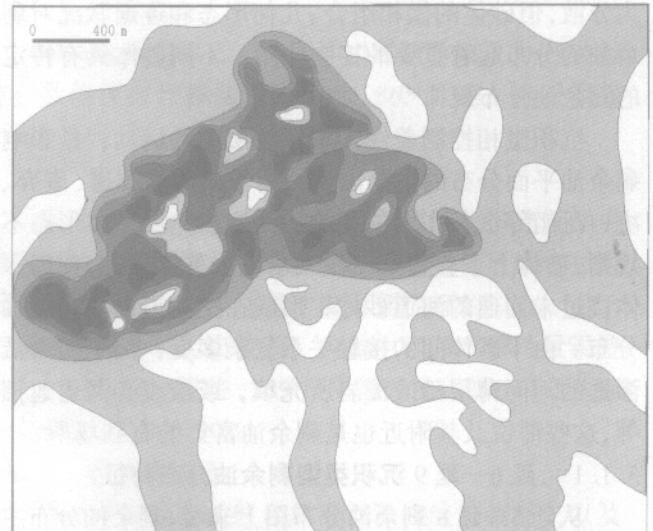


图 5 中一区 Y10¹ 小层剩余油饱和度分布平面图

Fig. 5 Planimetric map of residual oil distribution in the Y10¹ layer of M-1 area

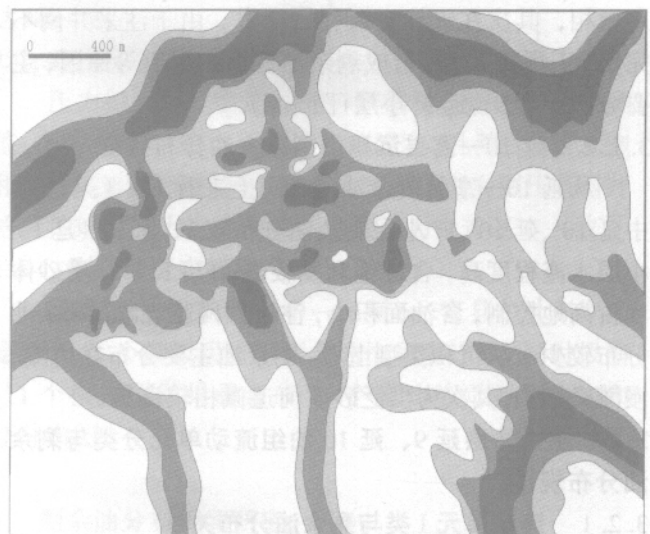


图 6 中一区 Y10¹ 小层流动单元类型分布平面图

Fig. 6 Planimetric map of flowing unit distribution in the Y10¹ layer of M-1 area

是油田进一步挖潜的一个区域。位于该类流动单元区域的油井,具有一定接替动用的价值,是目前油田稳产的接替井区。

3.2.4 流动单元IV类与剩余油分布关系

流动单元IV类主要在漫滩、河间洼地沉积以及沼泽区域分布,储层属低孔、低渗,弱水淹或未水淹区。其含油饱和度为原始含油饱和度,但其储层物性和原始含油性都很差,目前剩余油饱和度亦不高,因而不是剩余油分布的主要区域,不具有进一步挖潜的能力。

3.3 方案调整

针对马岭油田中一区剩余油分布特点,对于油藏边部以及井网密度不够等剩余油富集区,新钻调整井;对于油藏内部,处于微构造的高部位,水驱不到的剩余油富集区,但是目前周边井筒套破情况严重,设计新钻调整井;根据剩余油含油饱和度分布图分析,有注水井无采油井的井点,或者有采油井无注水井的井点采取相应层位补孔措施,或者采油井转注、注水井转采措施,完善注采井网。由此共部署新钻油井22口,注水井3口,转注井4口,目前部分新井已经实施并获得很好的效果,受到油田公司好评,由此说明本项目剩余油分布规律研究很成功,对油田生产起到了很好的指导作用。

4 结论

马岭油田中一区三维地质建模及油藏数值模拟一体化研究表明,油田开发中后期剩余油分布与沉积相及流动单元的划分有着较好的规律性,不同沉积相不同流动单元剩余油分布各不相同,从而为油田后期开发调整提供了挖潜方向。

(1)不同沉积微相剩余油分布规律:延6—延8沉积区剩余油主要分布在天然堤、决口扇等微相内,在本区由于河道分布的非均质性复杂,河道改道、废弃期次

较多,在废弃河道、季节性河道区域也存在部分剩余油;延9沉积期剩余油主要分布在季节性河道、决口扇微相,其次在天然堤微相较富集;延10—富县油藏剩余油主要分布在边滩、漫滩微相内,其次为洪泛砂质河道微相较富集。

(2)不同流动单元剩余油分布规律:I类流动单元区储层物性好,开发效果较好,因此多数油层已严重水淹,大部分井已经关闭。但由于该类储层其原油储量是该区的主要组成部分,个别井目前仍具有一定的生产能力,因而该类区域也具有进一步挖潜的能力。流动单元II类为该区储集性能较好的流动单元类型,这类流动单元主要分布于河床滞留沉积、决口扇以及边滩沉积。该类储层物性较好,原始含油饱和度较高,目前水淹程度相对较低,一部分未遭受水淹,仍含有一定的剩余油量,是目前油田生产的主要井区,也是剩余油富集的主力区。流动单元III类,水淹程度低,一部分未遭受水淹,平面上剩余油相对集中。该区储层物性相对较差,含油性也较差,试油产量较低,一般无自然产能,需要压裂改造才能出油,因而动用程度也较差,有些差油层没有射孔生产,是油田进一步挖潜的一个区域。流动单元IV类,主要在漫滩、河间洼地沉积以及沼泽区域分布,其储层物性和原始含油性都很差,不具有进一步挖潜的能力。

参考文献:

- [1] 裘怿楠,陈子琪. 油藏描述[M]. 北京:石油工业出版社,1995.
- [2] 熊琦华,陈亮. 现代油藏描述技术中随机模拟方法及应用[A]. 见:中国数学地质卷8[C]. 北京:地质出版社,1997. 72—84.
- [3] 张团峰,王家华,等. 三维储层随机建模和随机模拟技术研究[A]. 见:中国数学地质卷[C]. 北京:地质出版社,1991.
- [4] Poquioma W, Kelkar M. Application of geostatistics to forecast performance for waterflooding on oil field[J]. SPE Advanced Technology Series, 1994, 2(1): 142.

STUDY ON THE RESIDUAL OIL DISTRIBUTION REGULARITY BY INTEGRATED 3-D GEOLOGICAL MODELING WITH RESERVOIR NUMERICAL SIMULATION

WU Zhong-bao¹, KANG Li-xia², WANG Gai-e²

(1. Department of Energy, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Institute of Geology, Changqing Oil Field Company, Yulin 718500, Shaanxi Province, China)

Abstract: Study on the residual oil distribution regularity is often of importance and difficulty during the middle and late period of oil field production. According to the production patterns in the M-1 area of Maling Oil Field, we make use of

the technology of integrated 3-D geological modeling with reservoir numerical simulation. After the study of trap, fine layer comparison, deposition facies and flowing unit, a 3-D geological model for the M-1 area is established from Yanchang formation to Fuxian formation, which supplies an original geological model for the reservoir numerical simulation. Based on a successful history regression, the residual oil distribution is calculated with reservoir simulation. Finally, we analyze the residual oil distribution regularity combining with study of deposition facies and flowing units. As a result, the potential of the oil field and the adjusting direction for next production is determined.

Key words: residual oil distribution; deposition facies; flowing unit, 3-D geological modeling; reservoir numerical simulation

作者简介:吴忠宝(1970—),男,江苏省姜堰市人,工程师,中国地质大学(北京)能源系油气田开发工程专业博士在读,通讯地址北京市学院路29号中国地质大学能源系,邮政编码100083,E-mail//wuzhongbao2005@yahoo.com.cn

(上接第280页)

METALLOGENESIS OF GOLD DEPOSITS IN E'HU CONCENTRATION REGION OF GOLD MINERALIZATION IN JIANGXI PROVINCE

XIE Chun-hua¹, LIANG Xiang-hui¹, WEI Xing-lin¹, LIU Jian-chun², HU Jin-shan²

(1. Jiangxi Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Nanchang 330001, China;

2. No. 4 Party, Jiangxi Bureau of Geological Exploration for Nonferrous Metals, Jingdezhen 333001, Jiangxi Province, China)

Abstract: The northern part of Jingdezhen is an area with great potential for gold deposit in Northeastern Jiangxi Province. The E'hu concentration region of gold mineralization is a representative which has been discovered in recent years. The genetic type of the gold deposits in the region is of sheared quartz-vein zone formed in the ductile shear zone with superimposed brittle crash (also named as post-shear zone quartz vein). The gold deposits are characterized by the united control of ductile shear zones, Proterozoic strata, and E'hu granodiorite complex and lamprophyre in space. The gold mineralization commonly distributes in large areas and with a large quantity of ore bodies extending steadily along trends but variously along dips. The ores are of poor-sulphite type. The wallrock alterations are dominated by silicification, sericitization, pyritization, ankeritization, chloritization and carbonatization. The gold mineralization is closely related to the silicification, sericitization and pyritization. The values of $\delta^{34}\text{S}$ of the pyrites in the ores of Dabewu gold deposit range from -4.9‰ to -7.1‰, showing that the sulphur was dominantly derived from the epimetamorphosed marine sedimentary rock series. The values of the $\delta^{18}\text{O}$, $\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}$ and δC reflect that the metallogenic fluid was composed by the mixture of magmatic solution and metamorphic solution.

Key words: gold deposit; metallogenic feature; E'hu concentration region of gold mineralization; Jiangxi Province

作者简介:谢春华(1969—),男,江西永新人,高级工程师,1992年7月毕业于原成都地质学院地质矿产勘查系,从事金矿地质勘查、勘查技术管理和黄金地质成矿研究工作,现为中国地质大学(武汉)资源学院工程硕士研究生,通讯地址江西省南昌市井冈山大道361号有色地质勘查局地质矿产处,邮政编码330001.