

油藏地质建模及实时跟踪研究

丁圣¹, 林承焰¹, 周明晖¹, 张文喜², 程 慧¹

(1 中国石油大学 地球资源与信息学院, 山东 东营 257061;

2 中国石油化工股份有限公司 胜利石油管理局, 山东 滨州 256600)

摘要: 为了提高采收率, 降低开发风险, 以滩海地区某油田为研究对象, 结合地质、测井、地震等资料, 对该油藏进行实时跟踪地质特征综合研究。应用地质建模、随钻测井、地质导向等技术, 建立了精细的三维地质导向模型, 并根据随钻测井数据和综合地质信息, 实时验证构造和储集层信息, 对导向模型不断校正, 使模型与实钻结果一致, 还以该模型为基础, 优化水平井钻井的前进轨迹。结果表明, 此种方法的应用降低了海上油田开发风险, 能取得良好的开发效果。

关键词: 地质建模; 实时跟踪; 地质导向; 水平井

中图分类号: P618.13; TE122.2⁺4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6561(2010)01-0070-03

Study on Reservoir Geological Modeling and Real-time Tracking

DING Sheng¹, LIN Cheng-yan¹, ZHOU Ming-hui¹, ZHANG Wen-xi², CHENG Hui¹

(1. School of Geo-resources and Information, China University of Petroleum, Dongying 257061,

Shandong, China; 2. Shengli Petroleum Administration Bureau, China Petroleum and

Chemical Corporation, Binzhou 256600, Shandong, China)

Abstract Taking an oilfield in Beach area as an example, this paper focused on the geological features with real-time tracking technique based on logging and seismic data. A detailed geosteering model was built initially by geological modeling, logging while drilling and geosteering technique. According to logging while drilling data and synthetical geological information, the structural and reservoir informations were verified in real time and geosteering model was amended continuously in order to correspond geosteering model with the real drilling results. Forward tracking of horizontal well drilling was optimized based on geosteering model. The results showed that this method reduced the risk of offshore oilfield development and achieved positive effects.

Key words: geological modeling; real-time tracking; geosteering; horizontal well

0 引言

滩海油田开发投入高、风险大, 钻井资料缺乏, 前期方案是在各项地质参数及分布不确定的条件下完成的, 预测的可信度较低。不断加入新的钻井资料阶段, 提高采收率、降低开发风险的策略一直是海上油田开发值得关注的研究领域^[1]。

近几年来, 地质导向技术的应用较为广泛, 主要用于水平井钻井, 是水平井钻井技术的一项重大发展, 它标志着水平井钻井技术上升到一个更高的

层次。所谓水平井随钻地质导向是指在水平井钻井实施过程中, 随钻跟踪钻井所揭示的地下情况, 及时分析构造及油层变化, 并对水平井设计参数适时提出修正, 指导水平井钻井的前进轨迹, 从而最大限度地实现水平井钻井的重要工作^[2]。目前, 在滩海油田的产能建设中对地质模型的考虑还不够, 这给产能建设带来不利影响。笔者综合地质、测井、地震等信息, 应用 Petrel 油藏地质建模软件, 建立精细的三维地质导向模型, 从地质模型的角度对油藏进行实时跟踪研究, 提前预测地下情况, 应用

收稿日期: 2009-05-20

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(G1999022508)

作者简介: 丁 圣(1978-), 男, 安徽潜山人, 工学博士研究生, 从事油气田开发地质研究。E-mail: ds3108@126.com

地质导向技术及时调整水平井前进轨迹,提高水平井钻遇成功率,将该油田开发风险降到最低。

1 油藏地质特征

研究区地质特征具有圈闭类型多、圈闭面积大、沉积相带有利、油气资源丰富等特点。其所处的构造部位是一个长期发育的古斜坡,随着凹陷的不断下沉,古斜坡始终处于相对高部位。目的层底部构造形态为南北高、中间略低的鞍部,断层较为发育,这些断层活动时间长、断距大、控制沉积。沉积总体为高位体系域沉积,沉积范围广,变化大。该套地层为典型的水进型正旋回层序,随水体变化。沉积时古构造活动性弱,缺少充足的陆源碎屑补给,而古生界灰岩地层的溶蚀提供碳酸盐岩物质,水体清澈,底栖浮游生物发育,形成碳酸盐岩相沉积。

该区砂体分布连续性较好,在构造的高部位发育较好的储层,构造相对比较平缓,较少钻遇水层,水体范围不大,油藏类型为岩性-构造油藏,具有多套油水系统。油层电测解释孔隙度最高为29.2%,最低为18.7%,平均为25.7%;渗透率最大为 $746.3 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,最小为 $116.1 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,平均为 $498.9 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$;属于高孔、中高渗储层。从纵向上对比,随着埋藏深度的增加,孔渗减小,物性变差,由高孔高渗变成了中孔中渗;从储层的分类对比看,油层物性最好,水层次之,干层最差。

2 模型的建立

以滩海地区某油田为例,由于井资料较少,难以反映砂体的发育情况和构造变化,所以采用井震结合的方法,即以井点的随钻自然伽马为硬数据、地震波阻抗为软数据进行岩性分布预测。

2.1 数据准备

数据资料是三维地质建模的基础,直接影响着建模工作的正确与否。本研究共准备了两类数据:一类为井的数据,即井位坐标、井轨迹、分层数据、单井测井曲线数据;另一类为地震数据,即构造层面数据、断层解释数据及地震波阻抗数据^[3-13]。

2.2 构造模型

构造模型主要包括几何形态、断层分布、断层与储集层的空间配置关系等,可以直观反映地层整体构造与局部构造,构造模型的建立是三维精细地质建模最关键的一步^[14]。

该区的断层模型是利用地震解释的断层多边

形数据,通过内插得到各断层面的空间形态;继而根据地震剖面上断层形态对断层面进行校正,使得断层的产状与实际相符;最后依据断层切割关系对断层进行组合,从而得到研究区三维断裂系统模型。以井点分层数据及地震解释面数据为基础,建立了小层顶面及底面的构造,最终建立了研究区的三维构造模型(图1)。

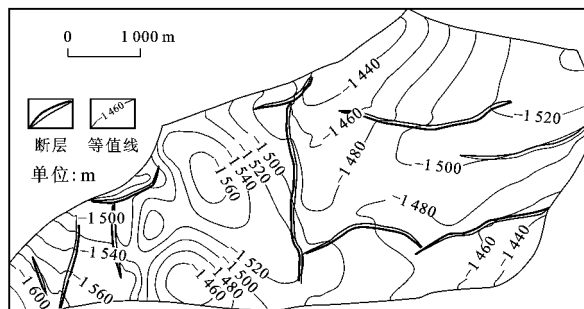


图1 构造模型

Fig. 1 Tectonic Model

2.3 同位协同模拟算法建立自然伽马模型

同位协同模拟是地质统计学建模方法的一种,该方法与序贯模拟算法结合,称为序贯同位协同模拟。通常情况下,沿着不同的随机路径求取各节点的累积分布函数,并从累积分布函数中提取模拟值^[14]。该方法运用同位协同和克里格协同地震数据实现井间地震约束,达到井震结合的目的。

笔者使用自然伽马曲线判断钻遇的砂泥情况,以测井自然伽马为硬数据,地震波阻抗反演体为软数据,进行同位协同模拟,从而建立自然伽马模型。图2为目的层自然伽马模型平面展布。在自然伽马模型的基础上,综合地质信息,采取截止值的方法,预测岩相展布。

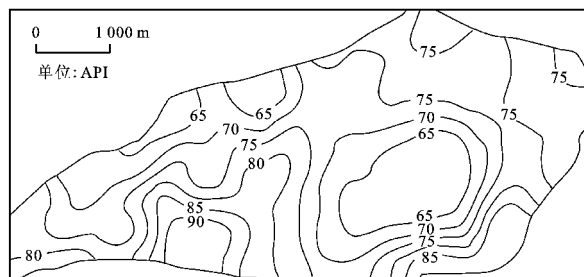


图2 自然伽马模型

Fig. 2 Gamma Ray Model

3 水平井实时跟踪

目前建模软件中Gocad和Petrel 2007均可以

随钻井进行实时钻井监控研究。通过编写 Gocad 软件接口程序,将现场实时钻井数据,传输到三维地质模型中,使用实时钻井数据对模型进行调整和修正,从而指导钻井。笔者使用 Petrel 2007 建立了较为精细的三维地质模型,并在模型的基础上采用实时钻井监控技术和水平井地质导向钻井技术对油藏进行了实时跟踪研究。

3.1 研究思路

水平井的跟踪研究建立在储集层预测的基础上,建立和更新精细的跟踪模型至关重要,因此钻前需要研究目的层段油藏地质特征,钻进过程中采用水平井地质导向技术,应用 Petrel 2007 油藏建模软件,对随钻井进行实时钻井监控,指导水平井的顺利实施。以滩海地区某油田的井 A 为例,水平井跟踪研究流程如图 3。

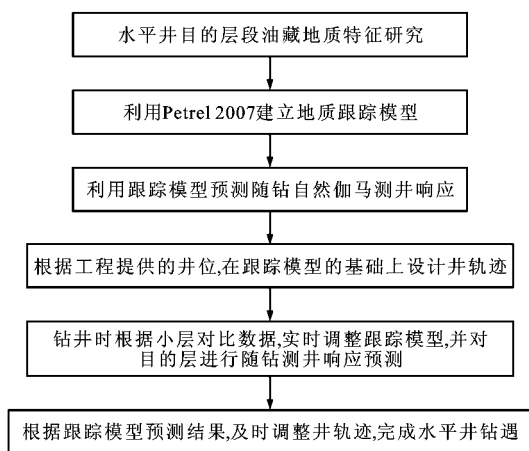


图 3 水平井跟踪研究流程

Fig. 3 Flow Diagram of Horizontal Well Tracking Research

3.2 钻井过程中跟踪模型的实时修正

钻井过程中,需要将实时钻井轨迹和监测到的随钻自然伽马测井曲线通过 Petrel 2007 软件接口传输到跟踪模型中,应用 Workflow 模块,迅速更新地质模型,对模型进行实时检验。若模型模拟情况与实钻结果不一致,及时修正和调整模型参数,使之与实钻结果相匹配,并对下一步可能钻遇情况进行预测。通过对跟踪模型的不断修正和完善,保证了模型与实钻结果的一致性,使对目的层位的预测更加准确。

3.3 优化水平井轨迹

优化水平井轨迹是水平井成败的关键,对于薄砂层周围水砂岩油藏,要使水平段在平面尽量远离油水边界,纵向尽量在砂体的中上部位钻进;对于

底水砂岩油藏,水平段要尽量在砂层上部穿越,纵向上储集层物性有差异的油藏,要尽量在物性好的砂层中穿越^[2]。

该区地质认识程度较高,储层发育较好,虽然断层较多,但构造幅度不是很大;周围有邻井控制,并且邻井产能较高,开发风险较小。以井 A 为例,该井周围有邻井控制,构造落实,位于构造高部位,有利于油井高产。在水平井位优选的基础上,综合地质、地震和动态资料,充分论证构造、层位、物性、产量等地质风险,并制定相应的技术对策与措施^[15-16]。

从图 4 可以看出,砂体呈条带状沿地层方向发育,这为调整和优化随钻井轨迹提供了依据。因此,在设计井 A 转迹的时候需要考虑地层倾角的影响,使井 A 钻遇尽可能多的砂体。工程轨迹和优化轨迹对比在随钻自然伽马模型中显示见图 4。随钻自然伽马值低的区域物性较好,工程轨迹钻穿了大段的泥岩隔夹层,因此,设计井轨迹尽量在剖面底部穿过,使其钻遇更多的砂体,从而提高钻探成功率。

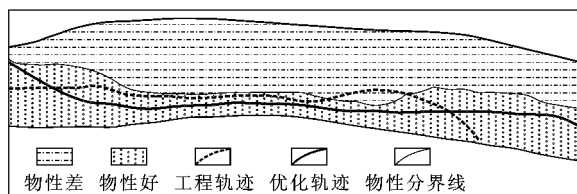


图 4 地质建模优化钻井轨迹

Fig. 4 Diagram of Optimizing Drilling Track by Geology Modeling

4 应用效果评价

该区评价井数量少,测井资料少,对构造、储集层的认识和砂体的分布规律主要依靠地震解释、反演成果和随钻数据,在很大程度上增加了实时跟踪的难度。

从已完钻的水平井来看,该井水平段长 982.4 m,其中钻遇油层 924.2 m,钻遇泥岩隔层较薄,钻遇率达到了 94.08%,取得了较好的随钻效果。从井的生产情况看,初期产量超过了 400 t/d,创造了该区近 20 年来最高纪录。因此,应用实时钻井监控和地质导向钻井技术对油藏进行实时跟踪研究具有重要意义。

(下转第 97 页)

的预测评价,并将其按影响程度的大小分为大、较大、中、小 4 级,得到了宁夏地区海原活动断裂对公路影响预测评价结果。其预测评价结果分别为:影响大的有 12.34 km^2 ,占全区面积的 1.0% ;影响较大的有 271.28 km^2 ,占总面积的 21.4% ;影响中等的有 400.05 km^2 ,占总面积的 31.6% ;影响小的有 585.04 km^2 ,占总面积的 46.0% 。

参考文献:

- [1] 彭建兵,马润勇,席先武,等.区域稳定动力学的应用实践研究——区域非稳定动力学环境下的大型水电工程环境灾害效应[M].北京:地质出版社,2006.
- [2] 国家地震局地质研究所,国家地震局兰州地震研究所.祁连山—河西走廊活动断裂系[M].北京:地震出版社,1993.
- [3] 柳煜.长岭山北麓断裂晚第四纪活动性研究[D].兰州:中国地震局兰州地震研究所,2006.
- [4] Allen C R, Luo Z L, Qian H, et al. Field Study of a Highly Active Fault Zone: the Xianshuihe Fault of Southwestern China[J]. Geological Society of America Bulletin, 1991, 103(9): 1178-1199.
- [5] Knipe R J. Deformation Mechanisms: Recognition from Natural Tectonites[J]. Journal of Structural Geology, 1989, 11(1/2): 127-146.

- [6] Molnar P, Chen W P. Focal Depths and Fault Plane Solutions of Earthquakes Under the Tibetan Plateau[J]. Journal Geophysical Research, 1983, 88(B2): 1180-1196.
- [7] 刘健新,赵国辉.“5·12”汶川地震典型桥梁震害分析[J].建筑科学与工程学报,2009,26(2): 92-97.
- [8] 马春燕,王钧利.西部公路建设与可持续发展[J].重庆交通学院学报,2003,22(3): 82-85.
- [9] 周杰.基于GIS的川滇地区地震活动与活动断裂分布关系研究[D].北京:中国地震局地质研究所,2005.
- [10] 彭自正,赵爱平,胡翠娥,等.基于GIS的江西活动断裂分布与地震活动关系研究[J].华南地震,2002,22(4): 9-18.
- [11] 赵法锁,宋飞,王艳婷,等.基于GIS的略阳县地质环境质量评价[J].地球科学与环境学报,2006,28(1): 88-91.
- [12] 吴琳,李天文.基于GIS的沉降监测数据分析及其三维模拟[J].地球科学与环境学报,2004,26(2): 67-70.
- [13] 长安大学.西部交通建设项目可行性研究报告[R].西安:长安大学,2004.
- [14] 马润勇.青藏高原东北缘构造活动及其工程灾害效应[D].西安:长安大学,2003.
- [15] 王启耀,蒋臻蔚,彭建兵.全新世活动断裂和地裂缝对公路工程的影响及对策[J].公路,2006(2): 104-108.
- [16] 吴珍汉,叶培盛,吴中海,等.青藏铁路沿线断裂活动的灾害效应[J].现代地质,2003,17(1): 1-7.
- [17] 吴信才.地理信息系统设计与实现[M].北京:电子工业出版社,2002.

(上接第 72 页)

5 结语

(1)建立精细油藏地质模型是水平井跟踪研究的基础,对目的层油藏地质特征进行研究,使用油藏地质建模软件,井震结合,建立准确合理的跟踪模型,从而指导水平井钻井研究。

(2)优化水平井轨迹的过程中要遵循一定的原则,选择地质认识程度较高、储层物性较好的层段,尽量降低开发风险。

(3)通过地质建模的水平井实时跟踪技术减小了油藏地质模型与实钻误差,有效地指导了水平井钻井。

参考文献:

- [1] 刘显太,昌峰,张世明,等.东海油气田 A 油藏跟踪研究及效果分析[J].西南石油学院学报,2003,25(2): 15-18.
- [2] 秦宗超,刘迎贵,邢维奇,等.水平井地质导向技术在复杂河流相油田中的应用——以曹妃甸 11-1 油田为例[J].石油勘探与开发,2006,33(3): 378-382.
- [3] 金平信,刘承红,高保国,等.渤南凹陷渤深 6 块潜山储层描述技术[J].地球科学与环境学报,2007,29(2): 174-177.
- [4] 霍春亮,刘松,古莉,等.一种定量评价储集层地质模型不确定性的方法[J].石油勘探与开发,2007,34(5): 574-579.

- [5] 穆剑东,董平川,赵常生.多条件约束储层随机建模技术研究[J].大庆石油地质与开发,2008,27(4): 17-20.
- [6] 赵惊蛰,闫林,孙卫,等.靖安油田盘古梁 6 油藏地质建模研究[J].地球科学与环境学报,2007,29(2): 162-165.
- [7] 陈建阳,于兴河,李胜利,等.多地震属性同位协同储集层地质建模方法[J].新疆石油地质,2008,29(1): 106-108.
- [8] 李良平,胡伏生,尹立河.鄂尔多斯盆地白垩系三维地质建模研究[J].西北地质,2007,40(2): 109-113.
- [9] 郭艳琴,刘昊伟,李宽亮,等.富县探区上三叠统延长组长 3 油藏储集因素[J].西安科技大学学报,2009,29(1): 73-77.
- [10] 赵虹,党永胜,等.鄂尔多斯盆地姬塬地区三叠系延长组长 2 油层组储层特征及影响因素[J].西安科技大学学报,2009,29(5): 579-583.
- [11] 付国民,李鑫,梁志录,等.油层砂岩成岩作用及其对储层性质的影响[J].西安科技大学学报,2007,27(3): 377-381.
- [12] 饶巧,李涛,何右安.安塞油田坪桥难采区油藏特征及开发对策[J].西北地质,2008,41(1): 107-114.
- [13] 张志升,付国民,孟海峰,等.安塞油田谭家营油区长 2 油藏剩余油分布规律及潜力研究[J].西北地质,2008,41(3): 106-111.
- [14] 石晓燕. Petrel 软件在精细地质建模中的应用[J].新疆石油地质,2007,28(6): 773-774.
- [15] 李艳明,陶林本,李旭东.吐哈油田水平井随钻地质导向技术研究[J].吐哈油气,2007,12(4): 337-340.
- [16] 张吉,陈凤喜,卢涛,等.靖边气田水平井地质导向方法与应用[J].天然气地球科学,2008,19(1): 137-140.