

文章编号:0253-9985(2010)02-0198-08

三维构造建模在复杂断块油藏中的应用

——以东濮凹陷马寨油田卫95块油藏为例

崔廷主¹, 马学萍²

(1. 山东胜利职业学院, 山东 东营 257097; 2. 中国海洋大学 海洋地球科学学院, 山东 青岛 266100)

摘要:基于三维地质建模技术,利用地震、钻井解释等资料,通过分析断层在空间的延伸及相互切割关系,建立了东濮凹陷马寨油田卫95块古近系沙三下亚段的构造模型,明确了研究区的构造特征,包括断层的走向和空间展布状况等。基础数据的准确性和可靠性是三维地质建模工作的关键,而马寨油田卫95块属于典型的复杂断块油藏,地层对比特征往往不明显,许多钻井上的断点位置很难准确识别,导致基础地质研究成果存在很多问题。在建模过程中,将三维建模软件特有的技术手段与基础地质研究相结合,在精细构造落实、精细地层对比等基础地质研究方面发挥了重要作用,解决了许多通过常规方法难以解决的问题,保证了模型的精度。

关键词:构造建模;复杂断块;断层模型;马寨油田;东濮凹陷

中图分类号:TE122.2 **文献标识码:**A

An application of 3D structural modeling to complex fault-block reservoirs

—a case of the lower unit reservoir of Sha-3 Member in Block Wei-95, Mazhai Oilfield, Dongpu Depression

Cui Tingzhu¹ and Ma Xueping²

(1. Shandong Shengli Vocational College, Dongying, Shandong 257097, China;

2. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China)

Abstract: Based on the technique of 3D geological modeling and through analyzing the spatial distribution and mutual dessection of faults with interpreted seismic and drilling data, we have build a structural model for the lower unit of Paleogene Sha-3 Member in Block Wei-95, by which the structural features are recognized, including fault strike and spatial extension. The accuracy and reliability of basic data are crucial to 3D geological modeling, but Block Wei-95 is a typical complex fault-block reservoir, where the stratigraphic correlation is insignificant and the faults are difficult to be identified in many wells, resulting in a series of problems in basic geological studies. During this structural modeling, combining the special techniques of 3D modeling softwares with the basic geological study has played a significant role in several basic geological aspects such as the refined structure location and the refined stratigraphic correlation. Thus many problems that can not be solved by the conventional methods have been solved here, and the model precision has been guaranteed.

Key words: structural modeling, complex fault block, fault model, Mazhai oilfield, Dongpu Depression

目前,我国乃至世界上的许多大油田都已进入人高含水中后期开采阶段,为了详细了解高含水期老油田地下剩余油分布规律,进一步挖掘已开

发的主力油田的潜力,提高原油采收率,要求石油地质工作者尽可能地掌握油藏的各种参数及其分布,揭露出地下储层的真实特征,为油田开发、井

网部署和方案调整等提供可靠的地质依据。油藏精细描述是对油藏进行综合研究和评价的一项实用性新技术,在油气勘探开发中具有重要作用,是油田勘探开发工作的立足点^[1]。油藏精细描述技术的综合性、一体化和参数分析的准确性是该项技术最突出的特色。三维可视化地质建模技术是近几年随着计算机三维图形图像处理技术的飞速发展而产生的建模技术,是油藏精细描述的核心。通过建立三维储层地质模型、定量形象的分布油藏三维参数及几何形态、提高井间地球物理特性的内插精度来提高油藏精细描述的可靠性和准确度。

实践证明,油藏精细描述和建立定量储层地质模型是非常必要的,本文对马寨油田卫95块古近来沙三下段亚段油藏进行了三维构造建模,从而在三维空间对研究区复杂的构造特征有了新的认识,明确了研究区断层的走向和空间展布状况。

1 地质概况

东濮凹陷为古近纪时期的拉张断陷盆地,华北地区长期的构造分化和多次构造运动对东濮凹陷的构造发育产生了深远影响。进入古近纪始新世,由于印度板块与欧亚板块碰撞和太平洋板块运动方向的转变,中国东部由左旋挤压剪切运动转变为右旋拉张剪切作用,形成了渤海湾大型箕状断陷含油气盆地,内部的断裂和凹陷展布方向仍遵循中生代构造线方向,即北北东方向。华北地区包括南华北地区的现今构造格局是自太古代以来长期的地质演化、多次构造运动发展和构造体制转变的结果,印支运动将渤海湾地区东西向构造格局转变为北北东向格局,因此,在这一区域应力作用下,渤海湾诸盆地呈北北东走向^[2]。

马寨油田卫95块区区域构造位置处于东濮

凹陷西斜坡的北部,属于岳村鼻状构造三台阶上的一个断鼻构造,南为柳屯洼陷,北与文明寨油田相邻,西以六塔断层为界,东接卫城油田(图1)。

卫95块在平面上沿南西-北东方向展布,北宽南窄,呈一个向南尖灭的楔形长条。东西宽约400~900 m,南北长约4 km,迭合含油面积3.2 km²。卫95块东西两条边界断层分别为东倾的卫98断层和西倾的卫95-6断层,断块内部发育的一系列西倾断层与东部边界断层向南交汇成角式断层圈闭,剖面上反映为反向屋脊式地垒结构。区块内部发育的一系列小断层,走向北东-南西或北北东-南南西,倾向北西、南东或南南东,在平面上把油藏分割成若干个封闭小断块,形成各自的油水系统,使构造、油水关系进一步复杂化(表1)。

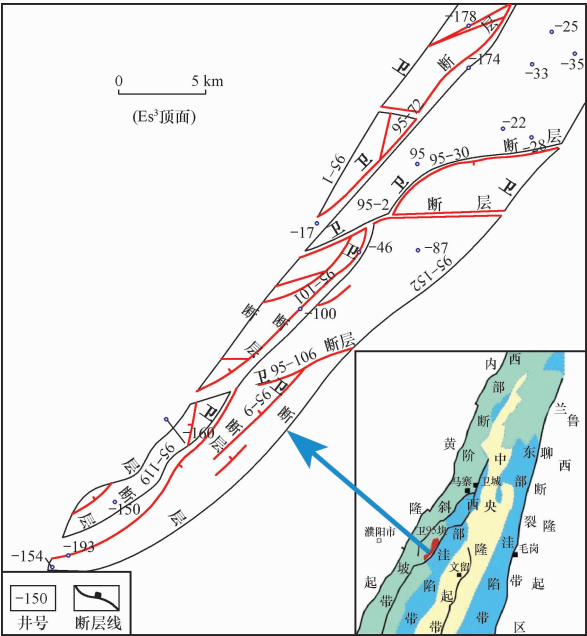


图1 研究区构造纲要和区域位置
Fig. 1 Structural framework and regional location of the study area

表1 马寨油田卫95块油藏主要断层要素

Table 1 The key fault elements of the reservoir in Block Wei-95, Mazhai oilfield								
断层编号	断层名称	断层级别	断层走向	断层倾向	断层倾角/(°)	断距范围/m	延伸长度/m	落实程度
1	卫95-1	三级	NE-SW	NW	45	20~150	4 000	落实
2	卫95-152	三级	NE-SW	SE	60	30~120	2 000	落实
3	卫95-101	四级	NE-SW	NW	30	0~100	1 500	落实
4	卫95-72	四级	NE-SW	NW	45	30~90	1 000	落实
5	卫95-2	四级	NEE-SWW	SSE	45	20~80	1 000	落实
6	卫95-30	四级	NEE-SWW	SSE	45	20~40	600	落实
7	卫95-119	四级	NNE-SSW	SEE	65	40~90	1 000	落实

2 构造建模的基本思路

三维地质建模一般遵循从点一面一体的步骤,即首先建立各井的一维垂向模型,其次建立储层的框架(由一系列叠置的二维层面模型构成),然后在储层框架基础上,建立储层各种属性的三维分布模型^[3]。一般地,广义的储层三维建模(即油藏三维建模)过程包括四个主要的环节,即数据准备、构造建模、储层属性建模和图形显示。根据三维地质模型,可进行各种体积计算。

构造建模的目的是建立反映油藏内部地质界面三维空间形态的油藏构造模型。油藏的构造模型由层面模型和断层模型组成,断层模型实际反映的是三维空间上的断层面,层面模型反映的是地层界面的三维分布,叠合的层面模型即为地层格架模型^[4]。油藏构造建模可以利用地震数据或井数据作为基础数据,分层数据在平面上只有有限的点,具有不连续性,因而横向预测效果差;地震层面追踪结果是平面连续的数据体,但垂向分辨能力弱。而地震层面解释结果和井数据(分层数据)结合而做出的构造模型具有更高的精确性,因此在构造复杂地区和井距大而井网密度小的地区地震数据与测井数据结合显得尤为重要。

卫95块沙河街组三段下亚段油藏井网密度比较大,但因其断层非常复杂,构造破碎,为了保证构造模型的精确性,本次构造建模选择将地震层面解释结果和井数据(分层数据)结合的方法,即在建立断层模型时利用地震构造解释所获得的断层多边形(polygon)来生成断层面,利用单井地层对比获得的断点数据修正断层的位置和形态,使之匹配和吻合;在生成层面模型时主要用地震构造解释所获得的构造图来控制相应层面的构造形态,利用单井分层数据来生成层面模型。

3 数据准备

储层建模是以数据库为基础的。数据的丰富程度及其准确性在很大程度上决定着所建模型的精度^[5]。原始数据是进行三维构造建模的先决条件,这些数据有些是具有高精度的真实记录,而有些则仅仅是地质学家的推断、经验、甚至是假设。地质数据是多种多样的,而且其来源也各有不同,

因此我们需要以不同的精度来处理这些数据。数据准备工作是一个微小的工作,但它却对建模工作具有非常重要的意义^[6]。从建模内容来看,基本数据类型包括四类:1)坐标数据:包括井位坐标、地震测网坐标等;2)分层数据:各井的油组、砂组、小层、砂体的划分对比数据,地震资料解释的层面数据等;3)断层数据:断层位置、断点、断距等;4)储层数据:储层数据是储层建模中最重要的数据。包括井眼储层数据、地震储层数据和试井储层数据。

4 构造模型的建立

构造模型再现了储层的三维空间格架。使地下的构造形态很直观的显示出来。并能比地震剖面更加精细,能够显示精细的微构造。^[9~12]

4.1 断层框架模型建立

断层框架模型的建立是构造建模的重要组成部分,它的效率和精度直接影响着后续建模工作的精确性。定义断层的方法很多,根据断层多边形、地震解释层面、输入的构造图、断层柱(fault stick)及断点都能生成断层模型。用断层的倾角、方位角、长度和形状定义断层面,并建立3D模型框架。断层可能是交叉的、分叉的或垂直截断的单个断层,在建模过程中要正确连接起来,以确保2个断层垂向延伸基本相同,保证连接时次级断层不出现明显的歪曲^[7]。当所有断层描述清楚后,并被正确地连接,构建断层模型结束。

卫95块断层非常发育,多处出现断层相交的现象,为断层模型的建立带来很大的难度。据此,本次建模首先选择数字化各油组顶面构造图上的断层多边形,根据这些断层多边形生成断层面,然后导入测井解释的断点数据,使多数断点位置与断层模型相吻合,对部分断点无法收敛到断层模型的井重新进行地层对比,改正了断点位置,最终使断层面与所有断点相吻合,尽量避免了地质模型在断层附近的油藏关系出现错误。对交叉断层的处理质量直接关系到后期层面模型的精度,结合该区断层间距较小,断层间交叉频繁的特点,采用按断层规模从大到小逐级连接,保证了相连断层垂向延伸基本相同。对连接时次级断层出现明显的歪曲现象进行再调,最终将所有交叉断层正确地连接。

分析断裂系统模型,认为卫95块为受断层控

制的断块,呈现出复杂断块油藏特征,发育 11 条主要断层(图 2),按其作用主要分为对油藏起控制作用的大断层和对油藏起复杂化作用的小断层。其中卫 95-1 和卫 95-152 两条边界断层及卫 95-101 断层控制着卫 95 块的构造;按断层产状又可将对油藏起复杂化作用的小断层分为两组:①走向 NE—SW 的近平行于边界断层的小断层,主要发育在该区北部,断层倾向均为北西,倾角在 50°左右,落差在 49~26 m 之间,如卫 9572 和卫 9526 断层,其中卫 95-26 断层为三条小断层组成的羽状小断层;②是走向近 E—W 的近垂直于边界断层的小断层,如卫 95-108、卫 95-60、卫 95-58、95-46、95-2 和卫 95-30 断层,它们在全区均有发育,且断层倾向不稳定,表现出从南向北断层倾向呈 N、S 交错出现的趋势。

4.2 层面模型

层面模型反映的是地层界面的三维分布,叠合的层面模型即为地层格架模型^[8]。建模的基础资料主要为分层数据,即各井的层组划分对比数据及地震资料解释的层面数据等。一般是通过插值法(亦可应用随机模拟方法),应用分层数据,生成各个等时层的顶、底层面模型(即层面构造模型),然后将各个层面模型进行空间叠合,建立储层的空间格架。

建立层面模型的前提是确定不同的地层叠置形式。有如下几种型式:

- 1) 比例型,内部层面与顶、底面平行;
- 2) 退覆-剥蚀型,内部层面与底面平行,而与顶面成锐角相交,可由退覆沉积作用形成,亦可由

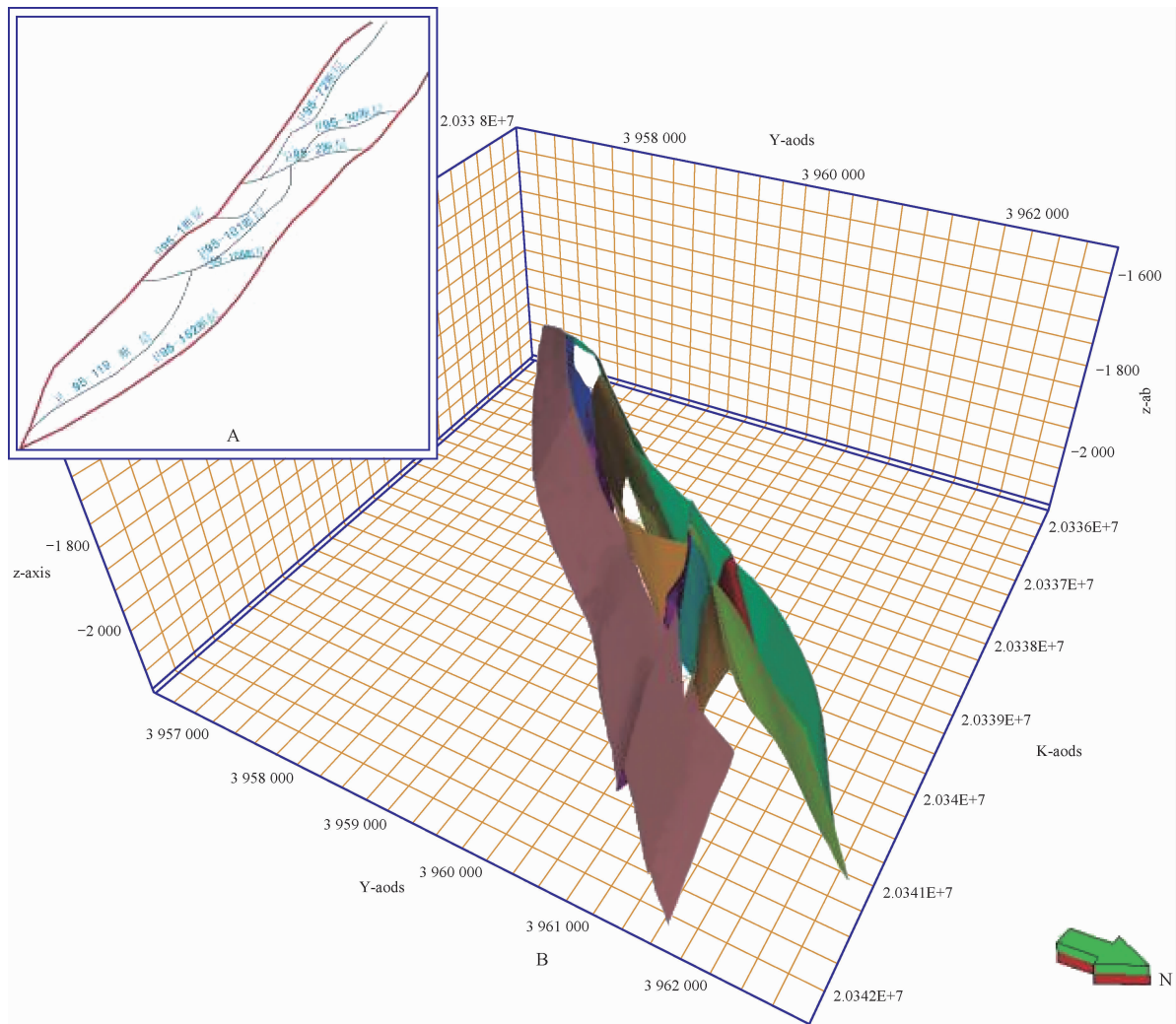


图2 马寨油田卫95块断裂系统在2D和3D下的显示

Fig. 2 2D and 3D exhibition of the fault system in Block Wei-95, Mazhai oilfield

顶部剥蚀作用而形成；

3) 超覆型,内部层面与底面呈锐角相交,与顶面平行,由超覆作用而形成。

在建立层面模型前要先确定油藏范围,选择合适建模边界。本次研究以卫 95 - 1 和卫 95 - 152 断层为东、西及南部边界,北部以卫 95 - 25 井、卫 95 - 35 井为边界。将断层模型网格化是建立层面模型的关键,网格化时在断层附近容易出现三角网格,这将影响到对层面模型的编辑调整,并最终影响模型的精确度,为了尽可能避免这种情况,为走向一致的断层设置了网格方向(图 3),图中标为红色的断层为 *J* 方向,*I* 方向则与其垂直。

研究区的地质情况不同,其所适用的算法也有所不同,正确选择算法是建立层面模型的基础。通过对各种算法的对比,滑动平均法(moving average)更适合卫 95 块层面模型的建立。研究区共

有 7 个油组 28 个小层,由于该区断层复杂,小层断失严重,导致在生成层面模型时断层附近常常出现“打架”现象,考虑到各油组内其他层面地势起伏及断层发育情况与该油组顶面层面接近,本次建模选择先建立各油组顶面的层面模型,通过三维可视化交互编辑使这 7 个层面模型符合实际地质要求,再以它们为控制面,以其转换所得的构造面为限制面,建立其余小层的层面模型。这样不但减少了工作量,还使所建立的层面模型更符合地质要求,精确度大大提高。卫 95 块沙河街组三段下亚段各油组地层都有比较稳定的标志层,构造简单地区地层对比比较容易,但在边部、结合部,由于断层多,标志层大部分被断掉,断点往往又比较密集,使得地层的电性特征常常变形,再加上岩性本身的变化,给地层对比带来很多困难,因此在分层数据的处理中剔除了许多突变的点数据。

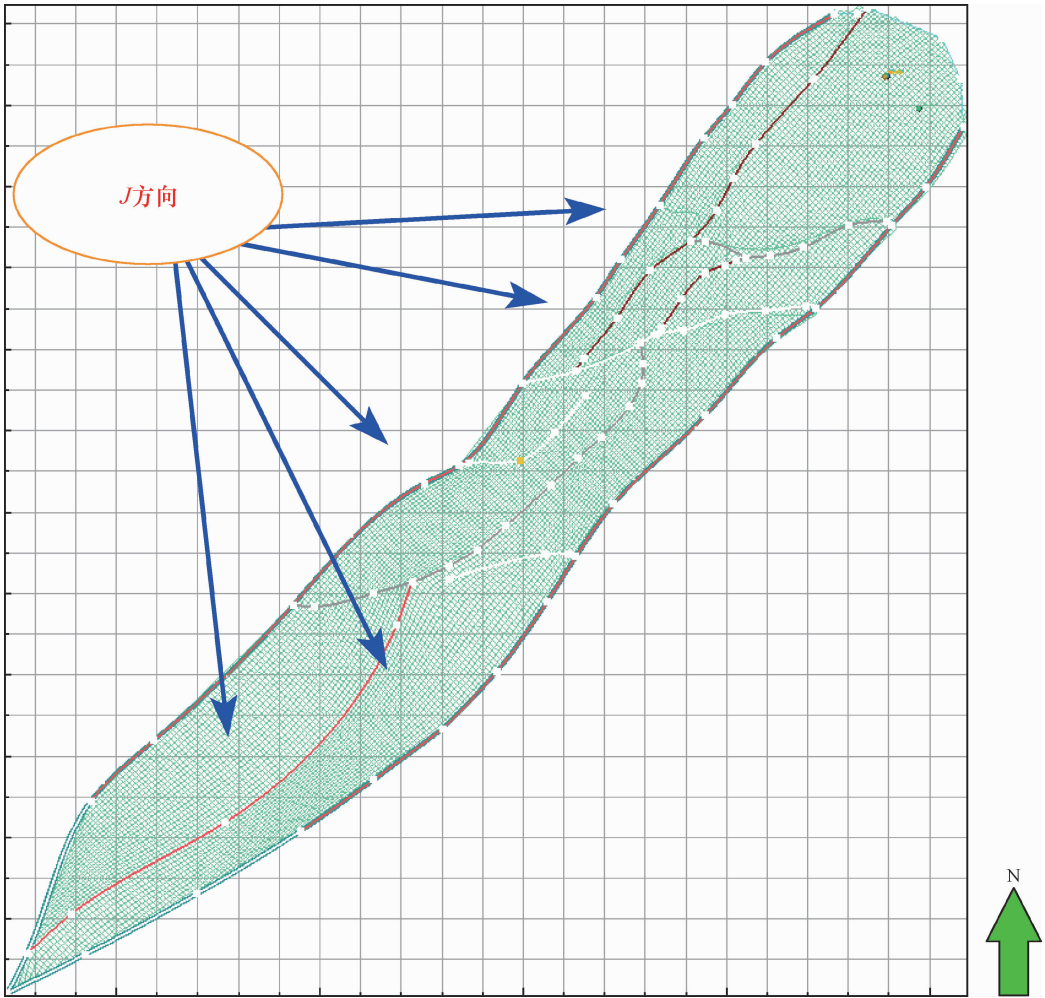


图 3 马寨油田卫 95 块网格系统平面

Fig. 3 Grid system plane of Block Wei-95, Mazhai oilfield

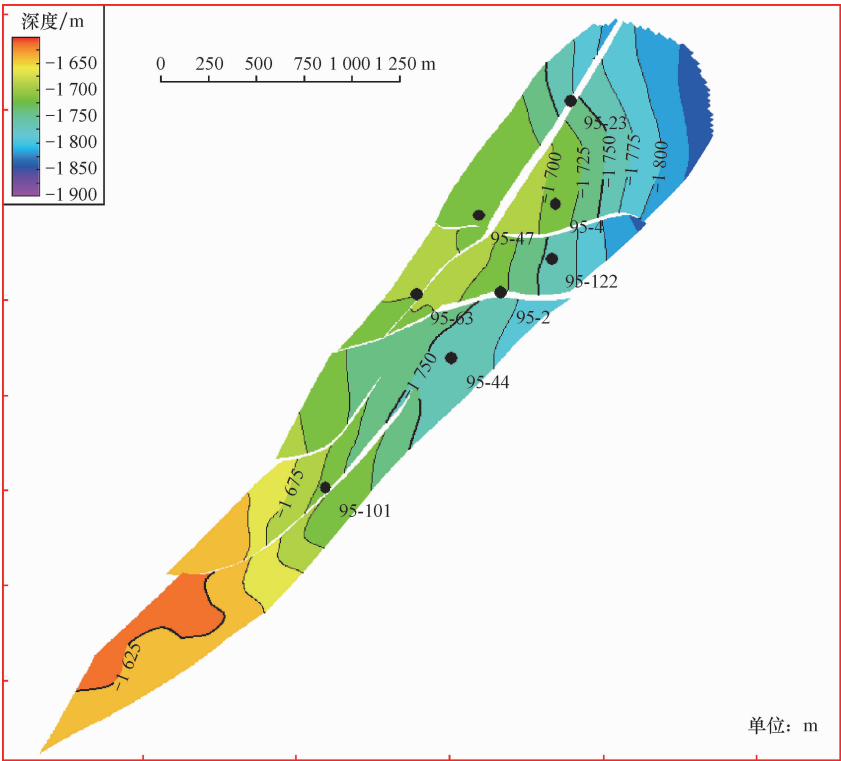


图4 马寨油田卫95块S3X1油组顶面构造

Fig.4 Structure map on the top of S3X1 reservoir in Block Wei-95,Mazhai oilfield

4.3 构造模型

以断裂系统模型和层面模型为基础,计算出卫95块的构造模型(图5),可以看出,研究区西南部地层埋藏较浅,最深为1 800 m,各小层地层落差多达150 m;东北部地区地层埋藏较深,断层分

布多而复杂,北宽南窄呈楔形长条状分布。

5 构造建模在基础地质研究中的应用

基础地质研究工作的准确性在地质建模工作中起着十分重要的作用,但是,许多问题依靠传统

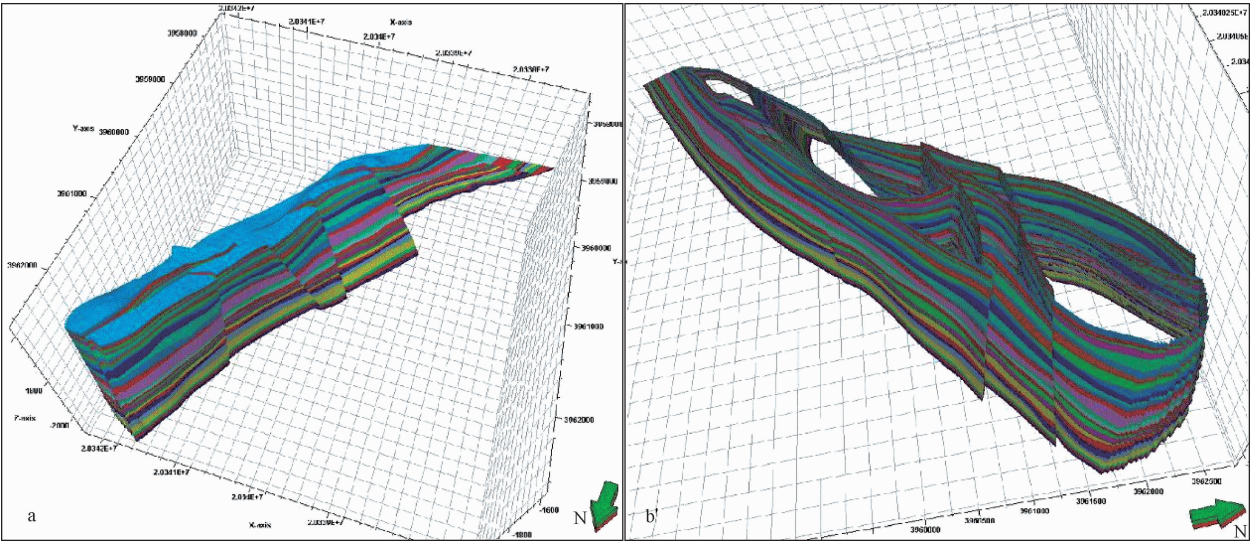


图5 马寨油田卫95块沙三下亚段构造模型(箭头指向为北)

Fig.5 3D structural model for the lower unit of Sha-3 member in Block Wei-95,Mazhai oilfield(The arrow points to the North)

工作方法无法很好的解决^[9]。如果将三维地质建模软件特有的三维可视化功能与基础地质研究相结合,可以较好解决这一问题。以卫 95 块为例,首先,根据地震解释成果建立了初步断层模型,由于地震资料的分辨率和精确度比较低,卫 95-72 断层模型与 W95-47, W95-18 井的断点位置不相符(图 6a)。通过三维可视化编辑对断层模型进行修改,使 W95-47 井的断点位置与断层模型相符合,但 W95-18 井的断点位置仍无法收敛到三维断面上,反映了该断点位置本身有问题(图 6b)。为此,对该井重新进行了地层对比,改正了断点位置,最终使断层模型与所有断点相吻合(图 6c)。实例说明,通过将三维地质建模技术扩展、应用到基础地质研究工作中,可以解决传统研究方法很难解决的地质问题。渤海湾盆地内的多数油田沉积环境复杂多变,地层对比特征不明显,许多钻井上的断点位置很难准确识别,成为困扰油田开发的一个严重问题。通过三维可视技术,分析断点在三维空间的分布关系,可有效、准确地解决这一问题,减少了油层或单砂体的井间对比失误,

进而提高了油藏的采收率。三维可视化交互编辑在建立层面模型时同样起了重要作用。

6 结论

1) 在对马寨油田卫 95 块构造特征充分研究和认识的基础上,综合利用地震解释和测井解释资料,建立了研究区的断层模型和层面模型,并最终得到该区的三维构造模型,模型真实的反应了研究区的构造实际,为后期属性模型的建立和油藏数值模拟奠定了基础,同时纠正了基础地质研究中出现的误差,保证了模型的精度。

2) 若要在三维地质模型中准确描述储集单元及单砂体的空间分布,并使其成为油藏开发生产中的实用手段,必须将三维地质建模工作扩展和贯穿到整个基础地质研究工作的各个阶段,并利用三维地质建模软件中特有的技术手段丰富、加强基础地质研究的精度和水平。计算方法虽然是三维地质建模工作中一个重要部分,但人工干预和三维可视化交互编辑是保证其真正成为地质模型的关键。

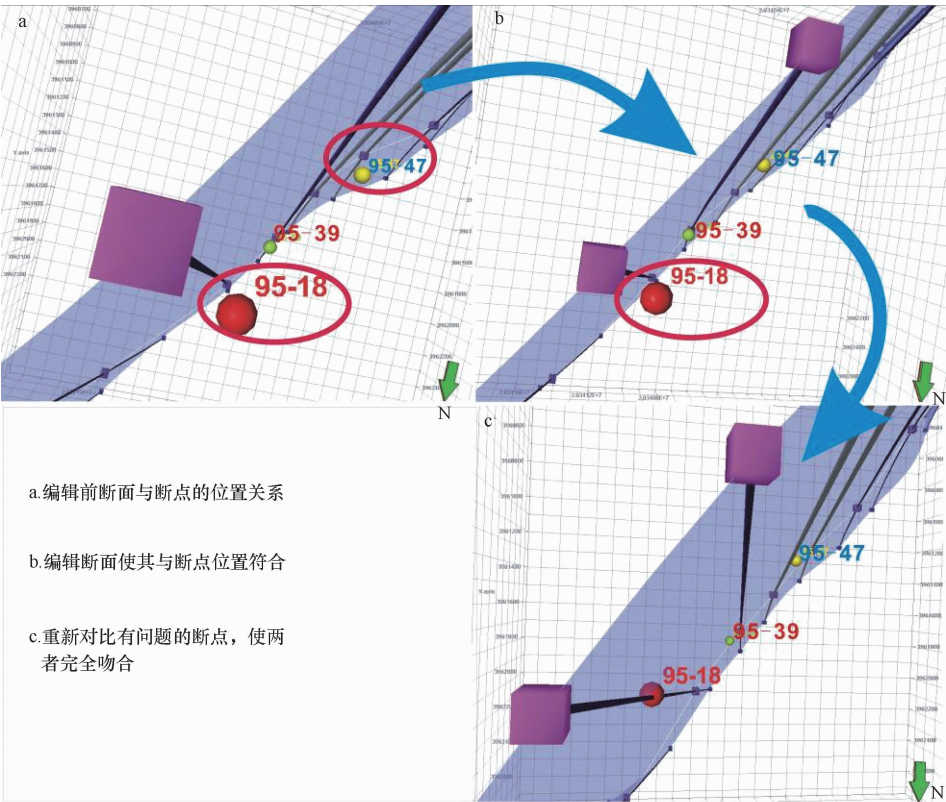


图 6 三维断层模型与断点位置关系及交互编辑校正实例

Fig. 6 A relationship between 3D fault model and faulted-point location and examples of interactive editing calibration

3) 研究工作虽然使用的都是现有的技术方法和工具,但通过采用新的技术要求和 workflows,较好解决了以往工作中很难解决的一些问题,这对于三维地质建模技术在油藏开发中的进一步推广和应用具有重大意义。

4) 三维地质建模技术是油藏开发阶段地质研究的一个有力工具,通过建立精细三维地质模型可以解决许多传统地质研究方法中存在的问题,是油田地质研究进一步发展的一个重要方向。

参 考 文 献

1 Zhu L F, He Z, Pan X et al. An Approach to Computer Modeling of Geological Faults in 3D and an Application[J]. China Univ of Mining & Tech(English Edition),2006,16 (4):461 - 465

2 雷利安. 濮城南区沙二上²⁺³油藏精细描述及剩余油分布研究[D]. 北京:中国地质大学(北京),2006:1 ~ 20

3 王炜,胡望水,官大勇等. 储层构造建模——以 h12 沙三中 4 - 8 砂组建模为例[J]. 内蒙古石油化工,2006, (1):126 ~ 128

4 裴烽楠. 储层地质模型[J]. 石油学报,1991,12(4):55 ~ 62

5 Smith R, Møller N. Sedimentology and reservoir modelling of the Ormen Lange field, mid Norway[J]. Marine and Petroleum Geology,2003, 601 - 613

6 Xu S J, Zhang X, Zhang J L. Application of Computer Modeling on Geological Structures in the Upper Second Member of Shahejie Formation in the Eastern Area of the Pucheng Oil field[A]. Jiang Y. Proceedings of first international conference of modeling and simulation[Z]. Nanjing: World Academic Union,2008. 282 - 285

7 Clayton V D. Geostatistical reservoir modeling[M]. London: Oxford University Press,2002. 1 - 155

8 吴胜和,金振奎. 储层建模[M]. 北京:石油工业出版社,1999. 1 ~ 10

9 杨少春,王瑞丽. 不同开发时期砂岩油藏储层非均质三维模型特征[J]. 石油与天然气地质,2006,27(5):652 ~ 659

10 余德平,曹辉,郭全仕. 断裂系统解释与储层预测中的三维相干技术[J]. 石油与天然气地质,2007,28(1):100 ~ 105

11 张世明,万海艳,戴涛,等. 复杂油藏三维地质模型的建立方法[J]. 油气地质与采收率,2005,12(1):9 ~ 11

12 隋淑玲. 河流相储层三维流动单元模型建立——以孤东油田七区馆上段为例[J]. 油气地质与采收率,2005,12(3):12 ~ 14

(编辑 陈喜禄)

(上接 197 页)

进一步说明了储层非均质性强的特征,同时也说明了裂缝的开启与封闭对于油气藏的规模具有重要的影响作用。

4 结 论

套尔河洼陷异常高压普遍分布,且油气藏的分布与异常高压之间的关系一直没有详细的研究。通过古地层压力的恢复,确定地层压力的演化规律与油气藏成藏机理的内在联系。利用异常压力的分布规律及其分布特征,结合流体动力学特征研究,确定致密储集层系超压裂缝的发育方向以及主控因素,利用他们之间的内在联系,指导有利的勘探方向。

参 考 文 献

1 郝芳. 超压盆地生烃作用动力学与油气成藏机理[M]. 北京:科学出版社,2005. 1 ~ 57

2 解习农,李思田,刘晓峰. 异常压力盆地流体动力学[M]. 湖北武汉:中国地质大学出版社,2006. 24 ~ 32

3 Hunter J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressure fluid compartments[J]. AAPG bulletin,1990,74(1):1 - 12

4 Osborne M J, Swarbrick R E. Mechanisms for generating overpressure in sedimentary basins; a revaluation[J]. AAPG Bulletin, 1997,81(6):1 023 - 1 041

5 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence[M]. 2d ed. Berlin: Springer,1984. 699

6 曾治平,宋国奇,刘魁元,等. 车镇坳陷套尔河洼陷地层超压成因机理[J]. 地质科技情报,2008,27(8):53 ~ 58

7 郝芳,蔡东升,邹华耀,等. 渤中坳陷超压- 构造活动联控型流体流动与油气快速成藏[J]. 地球科学,2004,29(5):518 ~ 524

8 郝芳,邹华耀,方勇,等. 断- 压双控流体流动与油气幕式快速成藏[J]. 石油学报,2003,25(6):38 ~ 43

9 Xie X, Bethke C M, Li S, etc. Overpressure and petroleum generation and accumulation in the Dongying depression of the Bohaiwan basin, China[J]. Geofluid,2001, 1 :257 ~ 271

10 陈红汉,董伟良,张树林,等. 流体包裹体在古压力模拟研究中的应用[J]. 石油与天然气地质,2002,23(3):207 ~ 211

11 刘福宁. 异常高压区的古沉积厚度和古地层压力恢复方法探讨[J]. 石油与天然气地质,1994,15(2):180 ~ 185

12 张本琪,张洪山,康仁华,等. 车镇凹陷层序地层与石油地质[M]. 北京:石油工业出版社,2004. 73 ~ 120

13 孙东胜,金之钧,吕修祥,等. 沉积盆地超压体系划分及其与油气运聚关系[J]. 石油与天然气地质,2004,25(1):14 ~ 21

14 曾治平,杨世刚,肖伶俐,等. 东濮凹陷文留、桥口与白庙地区地层超压对有机质演化的影响[J]. 石油与天然气地质,2006, 28(4):214 ~ 216

(编辑 高 岩)