

# 多资料匹配融合储层建模技术

夏吉庄 张玉晓\* 吕德灵

(中国石化胜利油田分公司物探研究院,山东东营 257015)

夏吉庄,张玉晓,吕德灵. 多资料匹配融合储层建模技术. 石油地球物理勘探,2016,51(2):350-354.

**摘要** 多资料匹配融合储层建模技术,是在贝叶斯理论框架下,将测井、三维地震及井间地震等多种资料进行优势互补的油藏建模新技术,可有效提高稀井区或无井控制区油藏建模的准确性,为中国东部老油田的精细油藏描述提供新的技术手段。该技术的核心算法为贝叶斯一序贯高斯模拟方法,以局部、少量的高分辨率(测井、井间地震等)数据为条件,建立与地震属性数据之间的条件关系实现地震属性的约束,有效利用了测井纵向分辨率高和地震资料横向分辨率高的优点,从而达到提高整个模型分辨率的效果。应用该建模方法建立了垦71区块的孔隙度模型,经对比发现,孔隙度模型井间趋势与约束数据趋势一致,纵向分辨率得到了显著提高,充分体现了多尺度资料联合物性建模方法的技术优势。应用实践表明,该方法模拟结果在井点附近与测井解释数据一致,在稀井或无井控制区的预测结果与地震约束数据一致,并有效提高了储层预测精度。

**关键词** 多资料融合 贝叶斯一序贯高斯模拟 油藏建模 测井 井间地震 三维地震

**中图分类号:**P631 **文献标识码:**A **doi:** 10.13810/j.cnki.issn.1000-7210.2016.02.019

## 1 引言

随着油田开发技术的不断进步,对油藏模型的准确度,尤其在稀井或无井控制区,如何减少模型的多解性提出了更高的要求。

实现上述目标的途径有两条:一是获取空间分辨率更高的各种地球物理资料,弥补主要靠测井资料进行内插外推的技术缺陷;二是发展能够将测井、三维地震及井间地震等多资料进行有效整合的新技术,实现各种资料的优势互补,提高稀井区或无井控制区油藏建模的准确性。

从油藏地球物理技术的发展与实践看,获取空间分辨率更高的各种地球物理资料已经取得技术突破<sup>[1-6]</sup>,面向油藏的小面元高精度三维地震已经在国内大部分油田规模展开,井间地震技术也在部分油田推广应用<sup>[7,8]</sup>,有效获取空间分辨率更高的各种地球物理资料已经不是问题。

测井资料具有纵向探测精度高(达到分米级)、横向探测范围小的特点(根据不同的测井方法、仪器

可反映井孔周围几厘米到几米不等的信息),是目前可用的尺度最小、精度最高的资料之一。

井间地震资料具有高频优势<sup>[7,8]</sup>,对构造和储层具有较高的分辨率,可有效获取米级精细地质结构和地球物理参数,能描述1m厚砂体的尖灭、相变及叠置关系。

三维地震资料是油藏建模的基础数据之一。具有数据量大、空间覆盖范围广的特点,横向分辨率较高,但纵向分辨率相对较低。可以描述10m级以上的地质目标体,对于描述10m级以下的小目标体以及储层的流体性质有一定的局限性。

以上这些资料在表征同一地质目标体时具有各自的优势,但存在空间分辨率和数值之间的不匹配。如何实现资料的优势互补,进一步提高油藏建模的确定性和精度是关键。

从油藏建模技术发展来看,地震资料在油藏建模中发挥的作用越来越重要。针对不同类型和不同品质的地震资料,应运而生了多种融合井震信息的模拟算法<sup>[9-11]</sup>。本文的多资料融合储层建模技术是一种融合中等垂向分辨率地震数据的建模新方法,

\* 山东省东营市东营区北一路210号中国石化胜利油田物探研究院,257015。Email:zhangyuxiao\_slyt@sinopec.com

本文于2014年10月23日收到,最终修改稿于2016年1月19日收到。

本研究受国家“863”计划项目“油藏地球物理特色技术模块研制与软件系统集成”(2011AA060302)资助。

该方法基于贝叶斯改进算法,称为贝叶斯一序贯高斯模拟方法,基本思想是沿着预先给定的随机路径计算每个待模拟网格的概率密度函数及所在地震网格的顶、底似然函数,然后把这三个函数的乘积作为新的概率密度函数,并从中随机抽取模拟值。该方法既考虑了储层物性垂向相关性又考虑了与地震属性的相关性,模拟结果更为合理。

## 2 多资料匹配融合储层建模技术

### 2.1 技术原理

多资料匹配融合储层建模技术以局部、少量的高分辨率数据(测井、井间地震等数据)为条件,通过建立地震属性数据与垂向网格参数值(包括测井、井间地震数据、已模拟值和待模拟值)之间的条件关系来实现地震属性的约束,综合了测井纵向分辨率高和地震资料横向分辨率高的优点,从而达到提高整个模型分辨率的效果。

用  $x_i$  表示在三维储层模型的网格单元  $i$  处的储层参数数据(如孔隙度),令  $z_{1,i}$  和  $z_{2,i}$  分别表示在包含单元  $i$  的垂向柱体内的上下两层地震属性的值(图 1),则有

$$z_{1,i} = \sum_{m=1}^{m_z} a_m x_m \quad (1)$$

$$z_{2,i} = \sum_{m=1}^{m_z} b_m x_m \quad (2)$$

式中:  $x_m$  为包含单元  $i$  的柱体的垂向第  $m$  个网格的参数值;  $a_m$  和  $b_m$  为包含单元  $i$  的柱体的垂向第  $m$  个网格的加权系数;  $m_z$  为单元  $i$  所在柱体的单元数。

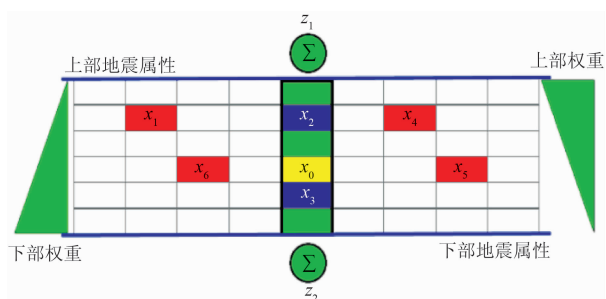


图 1 储层模型网格示意图

$x_0$  为当前待模拟值;  $x_1 \sim x_6$  为已知模拟值和条件值;  
 $z_1$  和  $z_2$  为最小采样间隔的地震属性

该建模技术基于贝叶斯一序贯高斯模拟方法,应用贝叶斯定理,可以得到待估点的条件概率分布函数为

$$p(x_0 | x_s, z_1, z_2)$$

$$\propto p(x_0 | x_s) f(z_1 | x_s, x_0) g(z_2 | x_s, x_0, z_1) \quad (3)$$

式中:  $x_s \in \{x_1, x_2, \dots, x_6\}$ , 已知其模拟值和条件值;  $p(x_0 | x_s)$  为在井数据、井间地震资料和已知模拟值条件下  $x_0$  的条件分布;  $f(z_1 | x_s, x_0)$  为在井数据、井间地震资料、已知模拟值和  $x_0$  的条件下顶层地震属性  $z_1$  的条件分布;  $g(z_2 | x_s, x_0, z_1)$  为在井数据、井间地震资料、已知模拟值、 $x_0$  和顶层地震属性  $z_1$  的条件下底层地震属性  $z_2$  的条件分布。

假设  $z_1, z_2$  的条件概率只与垂向柱体内网格属性有关,则有

$$p(x_0 | x_s, z_1, z_2)$$

$$\propto p(x_0 | x_s) f(z_1 | x_c, x_0) g(z_2 | x_c, x_0, z_1) \quad (4)$$

式中  $x_c \in \{x_2, x_3\}$ , 为在  $x_0$  网格所在柱体内的已知其模拟值和条件值。上式中各项均符合高斯分布,因此可通过求取各项的均值和方差来获得待估点的条件概率,即

$$N(\mu_0, \sigma_0^2) \propto N(\mu_p, \sigma_p^2) N(\mu_f, \sigma_f^2) N(\mu_g, \sigma_g^2) \quad (5)$$

通过求解克里金方程组计算均值和方差,得到概率密度分布函数,最后随机抽取模拟值作为待估点的模拟结果。

### 2.2 技术实现

经过近几年的发展,对以贝叶斯一序贯高斯模拟为基础的算法进行了多方面的创新优化,解决了技术实现过程中存在的难题,发展成为一种全新的油藏建模方法。在算法方面,优化创新的关键系数求取方法,使运算结果更为稳定;引入了井间地震资料,实现了井间地震和三维地震资料的共同约束;在建模网格系统方面,实现了地震网格系统到油藏模型网格系统的转变,更为实用。

#### 2.2.1 输入数据预处理

综合多尺度资料的储层建模方法,所输入的三维地震属性数据和井间地震属性数据与测井属性往往不是同一类参数,如:地震属性是波阻抗,而井属性是孔隙度。针对以上情况,首先进行地震反演成果数据与井属性数据的相关性分析,优选出相关性较好的反演成果,然后将地震属性转换为物性参数,将不同类型数据转换成相同类型数据,统一数据量纲。常用的两种将地震属性转换为井属性的方法为:一是应用地震属性与井数据回归得到的相关关系式进行转换;二是按照井属性累积概率分布与地震属性累积概率分布概率相同的原则进行转换。

### 2.2.2 地震约束加权系数优化

式(1)和式(2)中地震约束权系数  $a_m$ 、 $b_m$  的值, 直接决定了各模拟网格中地震数据约束作用的大小, 这些加权系数可以是常数, 也可以是随着空间变化的, 该参数的确定对建模结果影响较大。如图1所示, 如果认为地震属性加权系数是线性变化的, 则可以表示为

$$\begin{cases} a_m = (m_z - m + 1) \times \omega_c \\ b_m = m \times \omega_c \end{cases} \quad (6)$$

但参数  $\omega_c$  对模拟结果影响大且调整困难。因此将地震属性加权系数优化为

$$\begin{cases} a_m = \frac{m_z - m + 1}{0.5 \times m_z (m_z + 1)} \times \omega_c \\ b_m = \frac{m}{0.5 \times m_z (m_z + 1)} \times \omega_c \end{cases} \quad (7)$$

优化后的加权系数为归一化加权系数, 参数  $\omega_c$  在1左右变化, 无须手动调整。

另外, 除线性加权系数外, 还创新研究了常数、二次、三次和余弦算法, 可根据实际要求选择。

### 2.2.3 井间地震数据约束

将井间地震数据作为伪井应用, 当井数据与井间地震数据投影在同一模型网格时, 进行加权融合处理, 实现了三维地震和井间地震属性的共同约束。

### 2.2.4 建模网格系统转变

由于地震网格为时间域网格, 油藏模型网格是深度域网格, 因此需要对地震数据进行时深转换。通过建立空间变化的多井井点处时间域的层位与深度的对应关系, 实现测井合成记录标定; 应用空间多井标定成果, 在沉积模型框架约束下, 将时间域的层位转换到深度域, 并建立目的层段层速度体; 在时间域和空间域层位控制以及层速度体约束下, 将时间域数据体转换到深度域。在精细时深转换基础上, 将地震数据转换到油藏模型网格, 以备模拟时应用。

在上述研究基础上, 制定了如图2所示的技术流程。

## 3 技术应用

应用多资料联合储层物性建模方法, 以测井孔隙度为硬数据, 三维波阻抗反演体为整体约束, 井间地震波阻抗反演数据为局部约束, 建立了垦71区块东二段孔隙度模型, 并与常规建模方法的模拟结果进行了对比(图3、图4)。

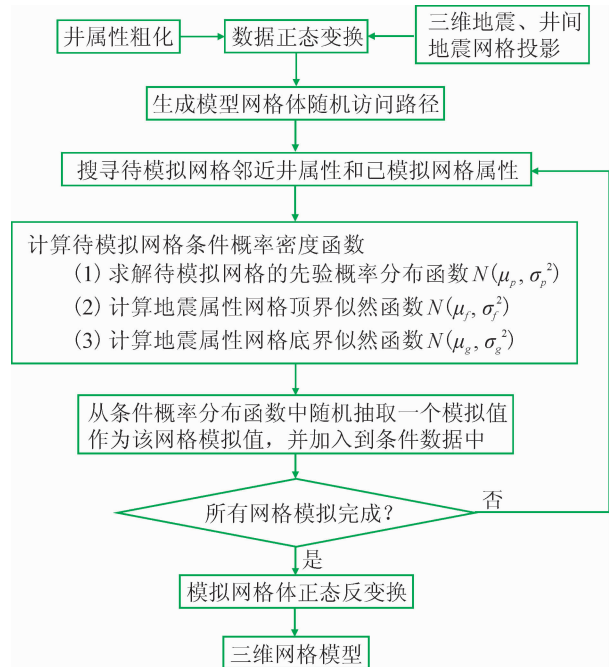


图2 多资料匹配融合储层物性建模技术流程图

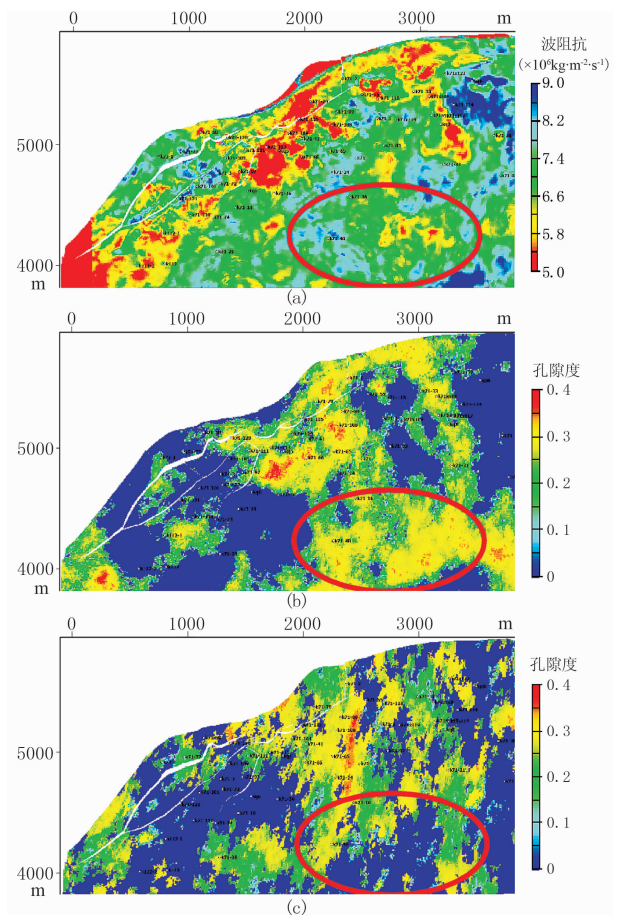


图3 垦71区块孔隙度建模结果平面对比 (a)纵波阻抗; (b)多资料匹配孔隙度建模结果; (c)序贯高斯孔隙度建模结果

从图 3 中可以看出,序贯高斯建模方法由于仅应用井资料进行模拟,模拟结果地质意义不足,无井区(如图 3 红圈内)与地质认识不符,多资料约束联合模拟结果受地震数据约束,平面分布与波阻抗分布规律较为一致,说明该建模方法是地震强约束建

模。从剖面对比图 4 中可以看出,多资料匹配孔隙度模拟结果在井点处与井点样本数据完全吻合,井间趋势与约束数据波阻抗趋势一致,与波阻抗相比,纵向分辨率得到了大幅提高,与常规序贯高斯模拟结果纵向分辨率相当。

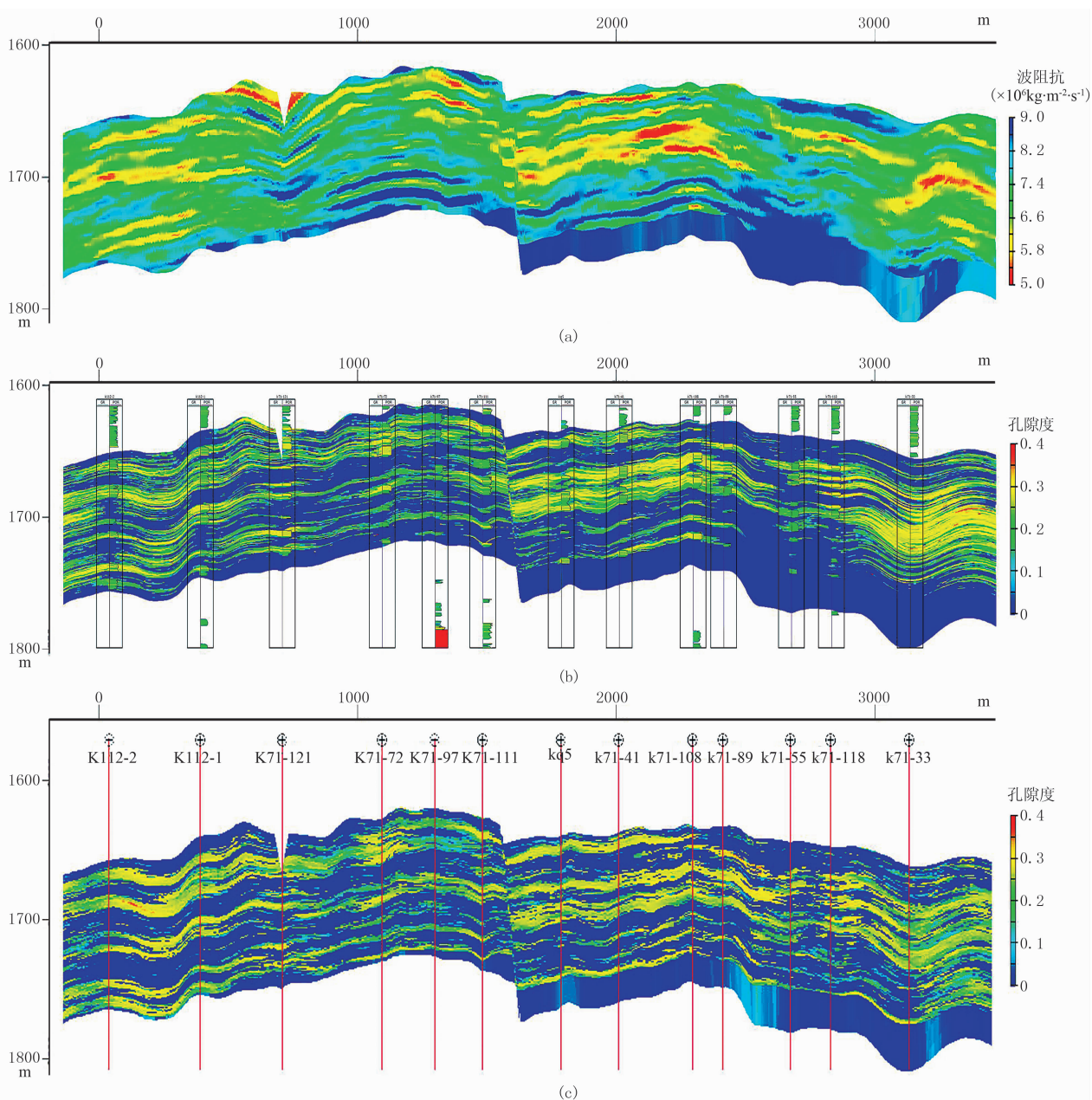


图 4 垦 71 区块孔隙度建模结果剖面对比

(a)纵波阻抗;(b)多资料匹配孔隙度建模结果;(c)序贯高斯孔隙度建模结果

## 4 结论

多资料匹配融合储层建模技术是一种基于贝叶

斯一序贯高斯模拟方法,有效整合测井、井间地震和三维地震资料的储层建模新技术,在方法原理、实现流程、数据预处理、地震约束加权系数优化、井间地震资料的利用等多个方面具有独特的技术优势。贝

叶斯—序贯高斯模拟方法既考虑了储层物性垂向相关性,又考虑了与地震属性的相关性,模拟结果更合理,运行更稳定。应用实践表明,该方法模拟结果在井点附近与测井解释数据一致,在稀井或无井控制区的预测结果与地震约束数据一致,有效提高了储层预测精度。

#### 参考文献

- [1] 王喜双,甘利灯,易维启等. 油藏地球物理技术进展. 石油地球物理勘探,2006,41(5):606-613.  
Wang Xishuang, Gan Lideng, Yi Weiqi et al. Technical progress of reservoir geophysics. OGP, 2006, 41(5):606-613.
- [2] 李阳. 胜利油田油藏综合地球物理研究现状及展望. 石油勘探与开发,2004,31(3):10-13.  
Li Yang. Prospecting and evaluation on the comprehensive geophysics studies of reservoirs in the Shengli Oilfield. Petroleum Exploration and Development, 2004, 31(3):10-13.
- [3] 刘文岭,韩大匡,胡水清等. 高含水油田发展油藏地球物理技术的思考与实践. 石油学报,2009,30(4):550-559.  
Liu Wenling, Han Dakuang, Hu Shuiqing et al. Consideration and practice of reservoir geophysics techniques in development of mature oilfields with high water cut. Acta Petrolei Sinica, 2009, 30(4):550-559.
- [4] 撒利明,甘利灯,黄旭日等. 中国石油集团油藏地球物理技术现状与发展方向. 石油地球物理勘探,2014,49(6):611-626.  
Sa Liming, Gan Lideng, Huang Xuri et al. The status and development direction of reservoir geophysics in CNPC. OGP, 2014, 49(6):611-626.
- [5] 王喜双,曾忠,易维启等. 中国石油集团地球物理技术的应用现状及前景. 石油地球物理勘探,2010,45(5):768-777.  
Wang Xishuang, Zeng Zhong, Yi Weiqi et al. CNPC geophysical technology application status and prospects. OGP, 2010, 45(5):768-777.
- [6] 刘文岭. 高含水油田油藏地球物理技术——中国石油物探的新领域. 石油学报,2010,31(6):959-965.  
Liu Wenling. Reservoir geophysics techniques in development of mature oilfields with high water cut; A new research area of geophysical prospecting for petroleum in China. Acta Petrolei Sinica, 2010, 31(6):959-965.
- [7] 时应敏,乔玉雷,王慧. 井间地震地质分辨率浅析. 油气地质与采收率,2005,12(5):33-35.  
Shi Yingmin, Qiao Yulei, Wang Hui. Preliminary analysis on cross-well seismic geologic resolving ability. Oil & Gas Recovery Technology, 2005, 12(5):33-35.
- [8] 钱志,左建军,魏国华等. 井间地震在油气勘探中的应用. 石油仪器,2010,24(5):25-27.  
Qian Zhi, Zuo Jianjun, Wei Guohua et al. The application of the cross-well seismic in the oil field prospect. Petroleum Instruments, 2010, 24(5):25-27.
- [9] Behrens R A, Tran T T. Incorporating seismic data of intermediate vertical resolution into 3D reservoir models: A new method. SPE, 1999, 325-333.
- [10] 印兴耀,贺维胜,黄旭日. 贝叶斯—序贯高斯模拟方法. 石油大学学报(自然科学版),2005,29(5):28-32.  
Yin Xingyao, He Weisheng, Huang Xuri. Bayesian sequential Gaussian simulation method. Journal of the University of Petroleum (Natural Science Edition), 2005, 29(5):28-32.
- [11] 贺维胜,夏吉庄,杨宏伟等. 三维高分辨率模型的建立及应用. 石油学报,2007,28(1):58-60,66.  
He Weisheng, Xia Jizhuang, Yang Hongwei et al. Development of three-dimension high-resolution model. Acta Petrolei Sinica, 2007, 28(1):58-60,66.

(本文编辑:宜明理)

#### 作者简介



夏吉庄 教授级高级工程师,1959年生;1983年本科毕业于大庆石油学院应用数学专业;1990年硕士毕业于中国石油大学(华东)石油地质勘探专业;现为中国石化胜利油田分公司物探研究院油藏地球物理首席专家,长期从事油藏地球物理及油藏精细描述研究。