

松辽盆地火山岩储层三维可视化描述

孙先达^{1, 2}, 王璞珺¹, 索丽敏³, 张民志², 路杰²

1. 吉林大学 地球科学学院, 长春 130061
2. 大庆油田 勘探开发研究院, 黑龙江 大庆 163712
3. 黑龙江八一农垦大学 信息技术学院, 黑龙江 大庆 163319

摘要:以松辽盆地升平地区作为目标区, 优选出 Petrel 软件。首先利用构造层面及断层数据建立了构造模型和断层模型, 然后通过确定性建模和随机建模结合的方法, 同时结合断层和构造模型建立了该区火山岩相三维地质模型, 在三维空间上详细刻画了典型火山岩体的岩相特征和在三维空间的变化规律, 实现了对营城组升平地区复杂构造目标区火山岩储层的三维可视化动态表述和展示。通过三维构造模型可以看出, 工区西北部及南部缺失营城组地层, 其内部发育由两个构造高点所构成的穹窿构造, 该构造以-2 810 m 等深线圈闭, 构造面积 32.45 km², 构造高点海拔为-2 660.5 m, 构造幅度 150.5 m, 断层多为南北向展布, 长度一般为 2~5 km, 断距一般为 8~30 m。

关键词: 储层建模; 三维地质模型; 三维可视化; 松辽盆地

中图分类号: P618.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-5888(2007)06-1272-07

3D Visualization Description of the Volcanic Rock Reservoir in the Songliao Basin

SUN Xian-da^{1, 2}, WANG Pu-jun¹, SUO Li-min³, ZHANG Min-zhi², LU Jie²

1. College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China
2. Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang 163712, China
3. Communication's Technical Institute, HLJ August First Land Reclamation University Daqing, Heilongjiang 163319, China

Abstract: 3D modeling has been a key problem in the study of the volcanic rock reservoir in the northern part of the Songliao Basin. Take the Shengping area of the Songliao Basin as a target area, and select Petrel software and use data of tectonic interfaces and faults, the authors firstly establish the structure and the fault model of the area; secondly, by combination of certainty modeling and stochastic modeling methods, and by unite of both structural and fault models, the authors depict typical volcanic-rock characteristics and the changing law of lithofacies in three-dimensional space in detail to carry out the dynamic expression and display of volcanic reservoirs of the complex tectonics target zone by 3D visualization. The three dimensional structural model reveals that the northwest and the south of the study area are lack of the strata of the Yingcheng Formation and there is a dome structure with two structural highs in the area. The dome is closed at -2 810 m isopach, with an area of 32.45 km². The structural high is at -2 660.5 m level, and is of an amplitude of 150.5 m. Most of faults are oriented in N-S di-

收稿日期: 2007-06-05

基金项目: 国家“973”项目(2006CB701403)

作者简介: 孙先达(1973-), 男, 黑龙江大庆人, 博士研究生, 主要从事矿产普查与勘探研究, E-mail: sunxianda@petrochina.com.cn

通讯联系人: 王璞珺(1959-), 男, 黑龙江绥滨人, 教授, 博士生导师, 从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究, Tel: 0431-88502620, E-mail: wangpj@jlu.edu.cn.

rection and are 2—5 km long, with a displacing distance of 8—30 m.

Key words: reservoir modeling; 3D geological model; 3D visualization; Songliao Basin

0 前言

自1994年加拿大人Simon W. Houlding提出地质体三维建模和可视化这一概念以来,可视化描述技术随着计算机技术的发展向地质研究等领域不断深入扩展,取得了空前的研究成果和技术进步。80年代中后期,储层三维建模(Reservoir modeling)开始发展起来,标志着储层表征(Reservoir characterization)新领域的出现,其核心是对井间储层进行多学科综合一体化、三维量化及可视化的预测,也是地质、地震、测井与计算机等学科互相交替而衍生的新学科。由于通过对地下真实形态的三维可视化显示^[1],能为油气开采提供更为直观,科学的决策依据,三维可视化技术在油气勘探技术的不断发展和创新过程中,在储集层描述中已经得到了并且正在得到更为广泛的应用。国外各公司先后推出了RMS、Petrel、FasTacker、Recon、Discovery、GPTMap、GOCAD等地质建模及可视化工具,其中Petrel、RMS、GOCAD在油田中应用的比较广泛。

由于火山岩储层的强烈复杂性特征不同于普通砂岩和碳酸盐储层,在国内外文献检索中还没有发现火山岩储层三维可视化描述的相关报道。松辽盆地北部兴城三维和兴城北三维地震资料处理解释中发现了“凹中隆”鼻状构造的存在,钻遇了巨厚的火山岩、砾岩储层,发现了大规模的天然气藏,火山岩储层气藏的勘探突破使得有机会尝试运用三维可视化这一新技术来解决火山岩储层描述难题。目前,在地质体三维可视化模拟方面前人已经进行了大量的研究,但其在理论、方法、技术和软件等方面都尚有许多不足和亟待改进之处,仍需在实践中不断的探索^[2]。本文在综合前人研究成果的基础上,采用Petrel软件,对松辽盆地升平地区的火山岩储层进行了三维可视化建模研究,通过确定性建模和随机建模的方法结合构造模型建立了火山岩相三维地质模型,在三度空间上详细刻画典型火山岩体的岩相特征和在三维空间的变化规律。

1 研究区地质概况

升平地区位于黑龙江省安达市境内。构造位置处于松辽盆地北部深层构造徐家围子断陷北部的升

平—兴城构造带上(图1)。该区是长期继承性发育的被断层复杂化的背斜构造,呈北西向展布,受北西向断裂控制明显,也是由多个火山口喷发的火山体堆积而成的一个复式背斜构造,该背斜长轴近北西向。本区火山喷发模式呈中心式—裂隙式喷发,即以裂隙喷发为主,中心喷发为辅。喷溢相分布面积最大,其次是爆发相。火山岩地层厚度为200~760 m,平均厚度350 m;火山岩有效储层厚度为40~130 m,平均有效厚度50 m。储层岩性主要为酸性的流纹岩,其次为熔结凝灰岩和凝灰岩,少量的中性岩。裂缝和溶蚀孔主要发育在喷溢相下部亚相、火山通道相火山颈亚相和隐爆角砾岩亚相中岩石比较致密的流纹岩中。裂缝以构造缝为主,方向以近南北向为主,其次为近东西向。倾角以斜交缝和高角度缝所占比例较大。

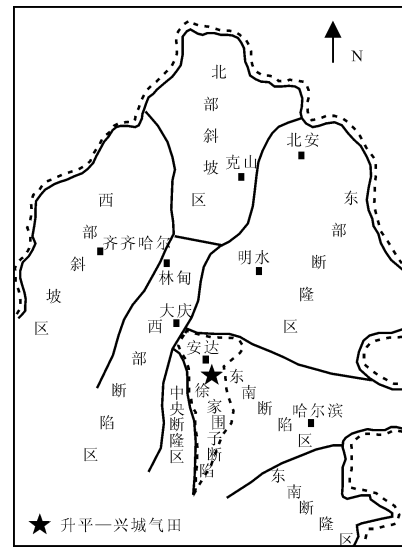


图1 升平区块位置图(据文献[3]修编)

Fig. 1 Shengping block location map(after reference[3])

2 建模方法和步骤

2.1 建模方法

储层建模有两种基本途径,即确定性建模和随机建模。确定性建模是对井间未知区给出确定性的预测结果,即从已知确定性资料的控制点出发,推测出点间确定的、唯一的和真实的储层参数。传统地质方法作图如内插编图、克里格作图和数学地质方

法作图都属于这一类建模方法^[4]。

由于在确定性模型中存在着不确定性,人们往往采用随机建模方法进行储层建模。随机建模是指以已知的信息为基础,以随机函数为理论,应用随机模拟方法,产生可选的、等概率的储层模型方法,即对井间未知区应用随机模拟方法给出多种可能的预测结果^[5]。该方法承认控制点以外的储层参数具有一定的不确定性,即具有一定的随机性。随机模拟的方法很多,但是随机建模并不能够代替确定性建模,其主旨是对非均质储层进行不确定性分析。在实际建模过程中,为了尽量降低模型中的不确定性,应尽量应用确定性信息来限定随机模拟过程。

2.2 建模步骤

提出建模流程先建立起理想的地质概念模型,然后再去收集尽可能多的相关资料,做到收集资料为模型建立服务^[3]。基本流程见图 2。从图 2 可以看出,建模流程是一个不断完善的过程,三维模型建立起之后再与理想地质概念模型进行比较,根据对实际模型的分析对理想模型进行改善,两者相辅相成。同时随着工作不断进行,某些地质参数有所改变,模型也要随着这些参数改变而改变,才能真正做到所建的模型为地质工作服务,便于更好地指导地质工作。

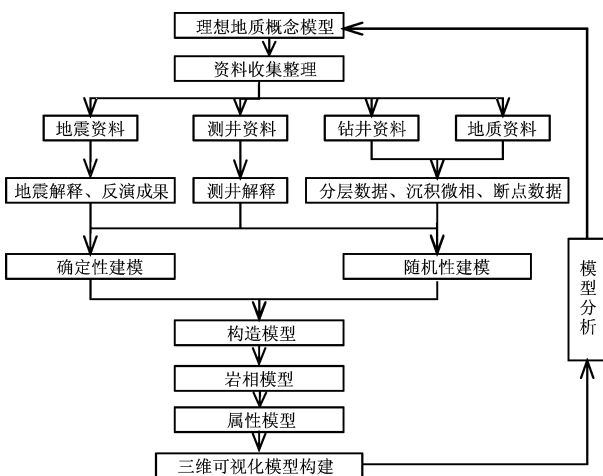


图 2 三维地质建模流程图

Fig. 2 Three dimensional geological modeling flow chart

2.2.1 数据准备

从数据来源来看,建模数据包括钻井、岩心、测

井、地震、试井、开发动态等方面的数据。从建模内容来看,基本数据类型包括以下 4 类^[6]:

- (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、砂体划分对比数据,地震解释层面数据;
- (3)断层数据:断层位置、断点、断距等;
- (4)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数据,井眼数据为岩心和测井解释数据。

对不同来源的数据进行质量检查是储层建模中十分重要的环节。为了提高储层建模的精度,必须尽量保证用于建模的原始数据的准确性。

2.2.2 构造建模

构造模型反映储层的空间格架,由断层模型和层面模型组成。断层模型实际反映的是三维空间上的断层面,主要根据地震解释和井资料校正的断层文件,建立断层在三维空间的分布。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^[7]。

建模的基础数据主要为分层数据,即各井的层组划分对比数据。一般通过插值法,应用分层数据,生成各个等时层的顶、底层面模型,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型式。

2.2.3 岩相建模

传统相控建模的主要办法是通过数字化相带线,用已有的沉积相带图进行确定性建模,进而对后面的物性参数体模型进行约束。但这种相建模的方法本质上属于二维沉积相带图向三维相模型的直接转化,各种沉积相的形态虽然比较符合人们的认识,但也存在着不能体现沉积体非均质性的问题。相建模过程中直接使用了相带图结果,而没有相应的计算过程,本质上来讲是不能被称作相建模的。现在所使用 Petrel 主流建模软件,其有自己的相模拟区块,有不同特点的算法,能够以井数据为基础,输入趋势约束进行确定性建模,或者完全根据井数据进行岩相的随机模拟,并根据对单井数据的分析可以比较好的对火山岩储层的非均质性进行描述。

2.2.4 三维可视化显示

三维空间赋值所建立的是数值模型,即三维数据体。对此可进行图形变换,以图形的形式显示出来。现代计算机技术可提供十分完美的三维图形显示功能,通过任意旋转和不同方向切片从不同角度显示储层的外部形态及其内部特点^[7]。

3 升平地区的火山岩储层三维建模

3.1 构造建模

由于升平气田目前井网密度低,井间距离较大,地下储层物性分布存在较强的非均质性与各项异性,用常规的由少数观测点进行插值的确定性建模,不能够反映储层物性的空间变化。所以本次地质建模在地震反演的基础上进行,模型建立时首先以营城组顶底面构造图建立本次研究的构造模型,对升平地区营城组储层进行高精度的确定性和随机性三维地质模拟,建立合理的火山岩储层特征的三维地质模型。构建层面模型,首先要确定地震解释层位。在进行层序格架的基础上,首先要确定标志层的地震响应,然后在单井标定的基础上,利用过井、联井剖面进行多井闭合标定,做到井间地质、地震层位的全区统一。在此基础上进行地震层序划分,层序接触关系识别,并与钻井分层相结合进一步确定地震解释层位。根据联井统层结果,确定了2个地震反射层, T_4 反射层(相当于营城组顶面反射), T_{4-1} 反射层(相当于营城组底面反射)(图3)。在构造建模时,对层面的选择及各井的层组划分对比,应按等时地层对比原则进行。构造建模从时间域、深度域同时做起,利用时深转换将反演数据体转换为深度域,同时再利用深度域断层层面数据建立深度域精细地质模型(图4)。

构建断层模型,首先需要两方面数据源:地震解释的断层线、地震解释后经过深度矫正的断层多边形。其次经过断层筛选,确定对构造和属性分布格局具有控制作用的断层。图5筛选的原则主要有两个方面:一是断层的规模,这些断层都是规模较大,同时切断多个层面的大断层;二是断层的位置,这些断层位于井群密集的升平构造高部位。

3.2 岩相建模

松辽盆地下白垩统营城组火山岩(130~113 Ma)^[5]是深层天然气的主要储集体。火山岩储层的裂隙占总孔隙度5%~30%,孔隙占70%~95%,孔隙发育程度和分布规律受岩相控制^[8],所以火山岩相是火山岩储层研究基础。基于盆缘火山岩露头以及剖面与钻井岩心、岩屑的对比研究,进一步将本区火山岩划分为5相15亚相^[9]。

升平区块火山岩相可识别出火山通道相的火山颈亚相,爆发相的热碎屑流亚相和热基浪亚相,喷溢相的下部亚相、中部亚相和上部亚相,侵出相的外带

亚相,火山沉积相的再搬运火山沉积岩亚相和火山碎屑沉积岩含煤亚相。在纵向序列上常见几种火山岩相的互层。在平面上,近火山口相组合见于升深2-1和升深201井附近(图6^①)。

分别把升平地区营三段上、中、下部火山岩相图进行数字化,具体技术路线上,按照单井相分析→剖面相分析→平面相分析的程序进行,使用 Petrel 主流建模软件,以14口单井相分析数据为基础,结合剖面相分析和平面相分析成果,根据井数据进行岩相的随机模拟。在构造模型基础上采用序贯指示同位协同克里金算法进行随机相建模。通过升平地区营城组三段火山岩相三维地质模型(图7、8),可以清晰观察到火山通道相、爆发相、喷溢相、侵出相及火山沉积相在三度空间上变化规律。

3.3 三维可视化显示

地层构造三维可视化的目的是为地质工作者提供准确而又直观的地质构造模型,为此,需要描述地下地质体的整体构造、单个层面的形态以及复杂的断层情况^[10]。采用以下4种显示方法:

(1) 单个层面显示。目的是详尽地表达单个层面构造形态(图4)。

(2) 三维地质体显示。目的是表达地质体的整体轮廓、地层之间的位置关系及地层的厚度等信息(图7)。

(3) 剖切显示。通过各种形式对三维地质体剖切生成的剖面或切片可以清楚地显示地质模型内部的各个细节,从而为了解地质构造提供帮助。模型剖切按如下方式进行:①任意垂直方向作为剖切路径生成剖面,并且按剖面的属性和位置叠加到三维地质模型中显示;②水平层位切片,对地质体的构造层面逐层剥离,或者抽出其中的某层(图8)。

(4) 动态显示。为了全方位、动态地显示三维地质整体构造,在提供旋转、平移、放大、缩小等交互手段的基础上,针对旋转、缩放等操作,提供多幅连续地质构造不同角度图像的计算机自动生成和存储手段,以自动或交互方式连续播放这些图像,从而实现地质模型全面动态的显示效果。

① 王璞珺,安达—兴城储量目标区火山岩相研究,大庆:大庆油田有限责任公司勘探开发研究院,2005。

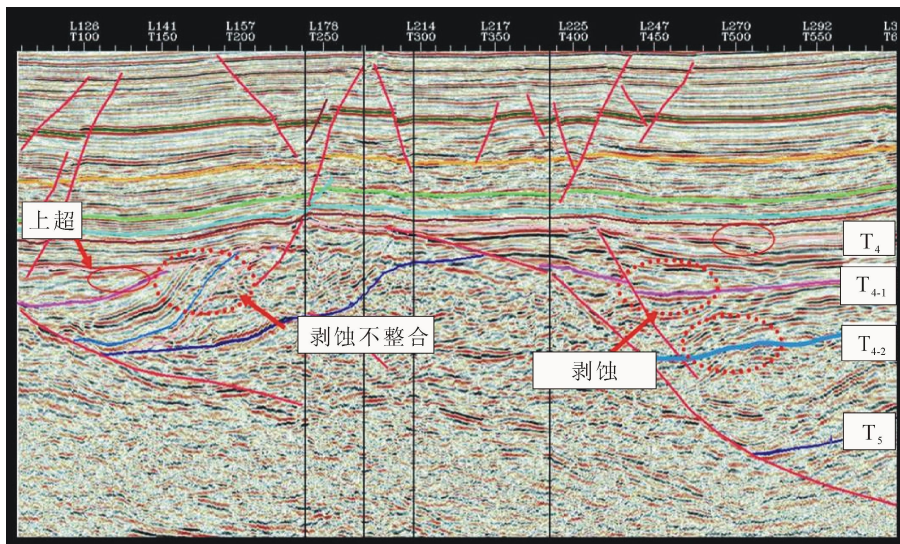


图 3 火山岩体标准反射层及地震识别特征
Fig. 3 Volcanic body standards reflection layer and it's seismic identifiers

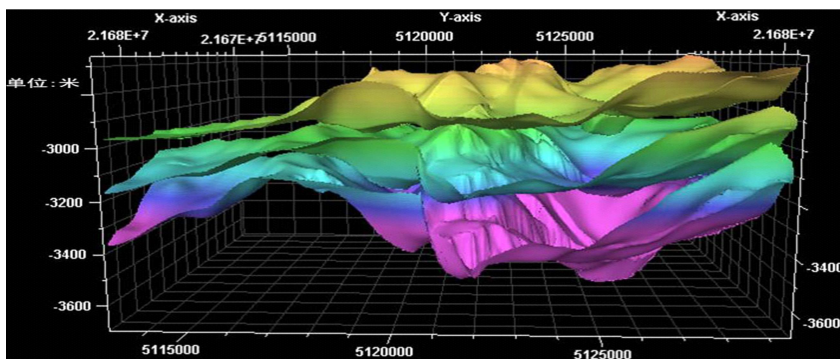


图 4 松辽盆地升平地区营三段上部、中部、下部底面三维构造模型
Fig. 4 Three-dimensional structural model of the upper, the central and lower bottom of Ying 3 segment in Shengping area of the Songliao Basin

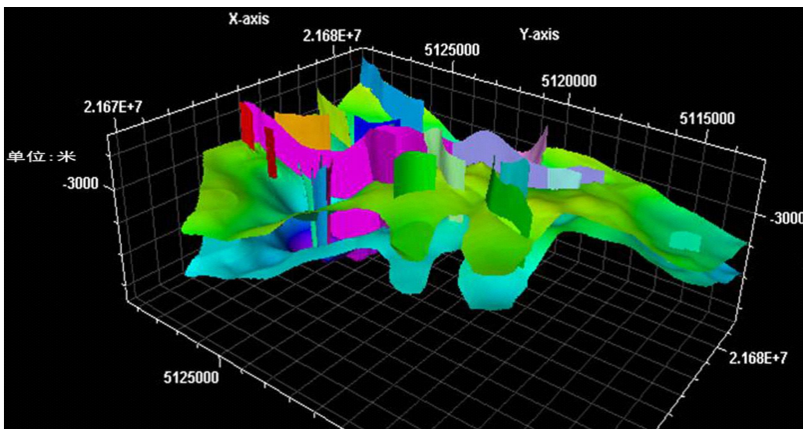


图 5 松辽盆地升平地区营三段中部、下部底面三维构造模型与断层三维模型
Fig. 5 3D structural model with the 3D model fault model of the central and the lower bottom of Ying 3 segment in Shengping area of the Songliao Basin

4 结论与讨论

(1)通过营城组升平地区三维构造模型可以看出,工区西北部及南部缺失营城组地层,其内部发育由两个构造高点所构成的穹隆构造;该构造以-2 810 m等深线圈闭,构造面积 32.45 km²,构造高点海拔为-2 660.5 m,构造幅度 150.5 m,断层多为南北向展布,长度一般在 2~5 km,断距一般为

8~30 m。

(2)应用构造层面及断层数据,建立了松辽盆地升平地区营三段三维构造模型和断层模型,充分利用三维地震资料建立时深关系,建立火山岩岩相分布三维地质模型,为建立在相控约束下的属性模型提供了约束条件。

(3)通过建立的火山岩三维地质模型,为描述和预测松辽盆地升平地区营三段火山岩储层的空间分

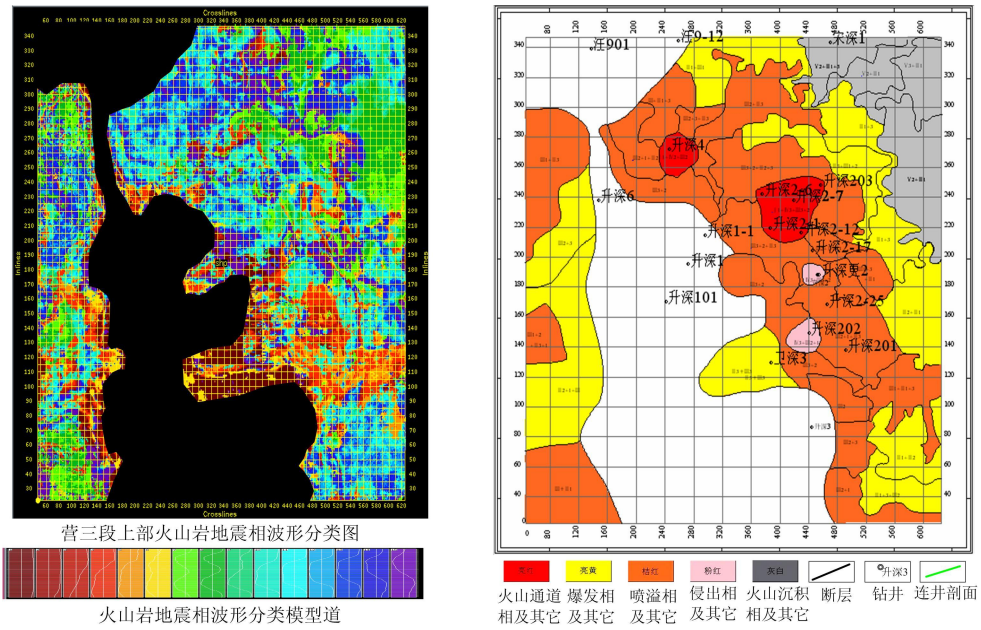


图 6 松辽盆地升平地区营三段中部火山岩相

Fig. 6 Volcanic lithofacies diagram of the central part of Ying 3 segment in Shengping area of the Songliao Basin

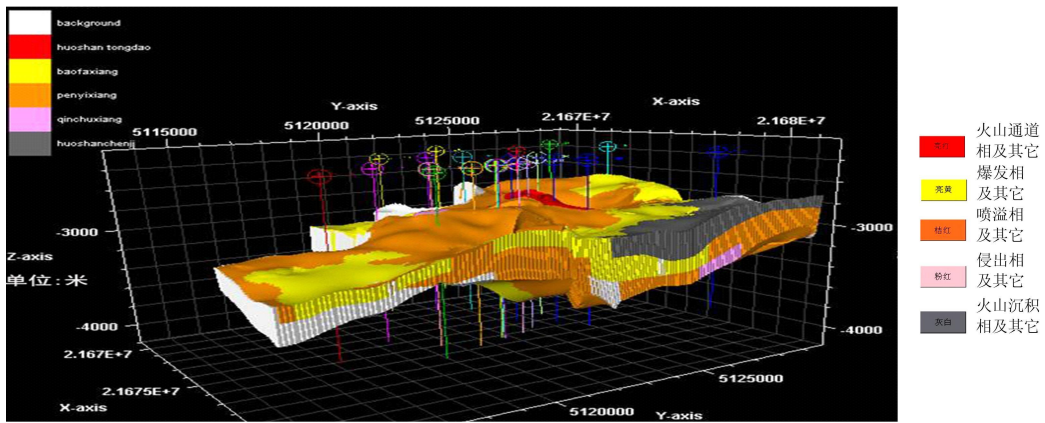


图 7 升平地区营城组三段火山岩相三维地质模型

Fig. 7 Volcanic lithofacies 3D geological model of Ying 3 segment in Shengping area of the Songliao Basin

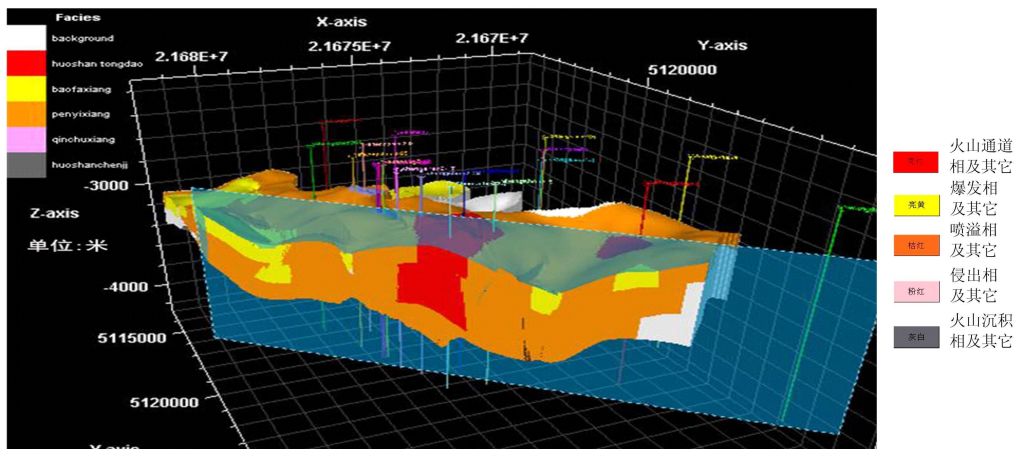


图 8 三维地质模型剖切

Fig. 8 Slitting 3D geological model

布特征和物性变化特征提供了依据。但由于地质体本身的复杂性和差异性,通用的地质概念模型往往不能解决所有的问题,因此需要继续加强对地质体概念模型的多方面综合地质修正性研究^[11]。比如针对不同的重点地质参数,可以形成相应参数的预测展延模型,这对进一步进行有利储层预测和开发研究具有很大意义。

参考文献(References):

- [1] 满安静. 三维精细地质建模在油田开发中的应用与探讨[J]. 内蒙古石油化工, 2006(3): 149—151.
MAN An-jing. Fine 3D geological modeling in oilfield development and exploration[J]. Inner Mongolia Petrochemical Industry, 2006(3): 149—151.
- [2] 徐立明, 牛新生. 地质体三维可视化模拟的现状与展望[J]. 西南民族大学学报·自然科学版, 2006, 32(1): 151—154.
XU Li-ming, NIU Xin-sheng. Geological 3D visual simulation of the current situation and prospect[J]. Journal of Southwest University for Nationalities(Natural Science Edition), 2006, 32(1): 151—154.
- [3] 章凤奇, 陈汉林, 董传万, 等. 升平—兴城气田营城组火山岩储层流体包裹体研究[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2006 14(1): 140—145.
ZHANG Feng-qi, CHEN Han-lin, DONG Chuan-wan, et al. Fluid inclusion analysis of volcanic reservoir in the Yingcheng Formation of the Shengping—Xingcheng gas field[J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 2006, 14(1): 140—145.
- [4] 胡向阳, 熊琦华, 吴胜和. 储层建模方法研究进展[J]. 石油大学学报(自然科学版), 2001, 25(1): 107—112.
HU Xiang-yang, XIONG Qi-hua, WU Sheng-he. Reservoir modeling study progress[J]. Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science) 2001, 25(1): 107—112.
- [5] 唐华风, 王璞珺, 姜传金, 等. 松辽盆地火山岩相地震特征及其与控陷断裂的关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2007, 37(1): 73—78.
TANG Hua-feng, WANG Pu-jun, JIANG Chuan-jin, et al. Songliao Basin volcanic earthquake characteristics compared with the control and the relationship between depression fracture [J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2007, 37(1): 73—78.
- [6] 张天渠. 油田长 21+2 油藏描述与剩余油分布研究 [R]. 武汉: 中国地质大学资源学院石油系, 2004.
ZHANG Tian-qu. Reservoir description and distribution of the remaining oil of oilfield of Chang21+2 [R]. Wuhan: China University of Geosciences Department of Petroleum Resources Institute, 2004.
- [7] 周红. 大王北油田大 48 井区储层建模研究[J]. 新疆石油天然气, 2006 2(2): 40—44.
ZHOU Hong. 48 north oilfield well reservoir modeling study[J]. Xinjiang Oil & Gas, 2006, 2(2): 40—44.
- [8] Wang P J, Liu W Z, Wang S X, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar and K/Ar dating on the volcanic rocks in the Songliao Basin, NE China: constraints on stratigraphy and basin-dynamics[J]. International Journal of Earth Sciences, 2002, 91(2): 331—340.
- [9] 王璞珺, 陈树民, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相与火山岩储层的关系[J]. 石油与天然气地质, 2003 24(1): 18—27.
WANG Pu-jun, CHEN Shu-min, LIU Wan-zhu, et al. Relationship between volcanic facies and volcanic reservoirs in the Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003 24(1): 18—27.
- [10] 朱大培, 牛文杰, 杨欣, 等. 地质构造的三维可视化 [J]. 北京航空航天大学学报, 2001, 27(4): 448—451.
ZHU Da-pei, NIU Wen-jie, YANG Xin, et al. Geological structure of 3D visualization[J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2001, 27(4): 448—451.
- [11] 曾新平. 地质体三维可视化建模系统 GeoModel 的总体设计与实现技术 [D]. 北京: 中国地质大学, 2005.
ZENG Xin-ping. Overall design and implementation techniques for geomodel, a 3D geo-object modeling and visualization system[D]. Beijing: China University of Geosciences, 2005.