

The Method and Application of Geosteering Modeling in Fractured Buried Hill Oil and Gas Reservoirs

Yan Wu, Hongfeng Shen, Zhiting Tang

Mud Logging Company of the Great Wall Drilling Engineering Company, CNPC, Panjin Liaoning
Email: dream_wuyan@foxmail.com

Received: Apr. 15th, 2017; accepted: Jul. 6th, 2017; published: Aug. 15th, 2017

Abstract

In allusion to the problem that how can geosteering model effectively reflect the location of fracture development and guide the real drilling tracking and the accurate geosteering in horizontal wells of fractured buried hill oil and gas reservoirs, two methods, laminar formation mode and fracture random modeling mode with multiple data volumes in geosteering model were analyzed based on the Proterozoic buried hill in S Block of Liaohe Oil Region. In the former, subdividing the oil-bearing zone into sublayer was the base for the geosteering tracking process, while the later made a preliminary exploration on the establishment of the attribute body by combining various types of fracture-related data. The results show that the two methods can predict the beneficial fracture locations and fracture distribution between wells from different angles, and guide the establishment of geosteering model with different advantages and shortcomings. The both can be combined to improve the analysis ability of geosteering tracking.

Keywords

Buried Hill Reservoir, Geosteering, Fracture Modeling, Subdivision of Layer, Attribute Body

裂缝型潜山油气藏地质导向建模方法与应用

吴 炎, 沈宏峰, 唐志庭

中石油长城钻探工程有限公司录井公司, 辽宁 盘锦

作者简介: 吴炎(1987-), 男, 硕士, 工程师, 现从事地质导向技术与推广工作。

Email: dream_wuyan@foxmail.com

收稿日期: 2017年4月15日; 录用日期: 2017年7月6日; 发布日期: 2017年8月15日

摘 要

针对裂缝型潜山油气藏水平井地质导向应用中导向模型如何有效反映裂缝发育有利部位, 指导实钻井跟踪并实现精确导向的问题, 基于辽河油区S区块元古界潜山采用层状地层模式与多种数据体融合的裂缝随机建模模式两种方法进行分析。前者通过对含油层段进一步细分小层作为导向跟踪流程的基础, 后者将各类与裂缝相关数据融合建立属性体进行了初步探索。结果表明二者从不同角度来预测裂缝有利部位与井间裂缝分布, 指导地质导向模型建立, 具有各自的特点与不足, 可以将二者结合应用来提高导向跟踪分析能力。

关键词

潜山油气藏, 地质导向, 裂缝建模, 层段细分, 属性体

Copyright © 2017 by authors, Yangtze University and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

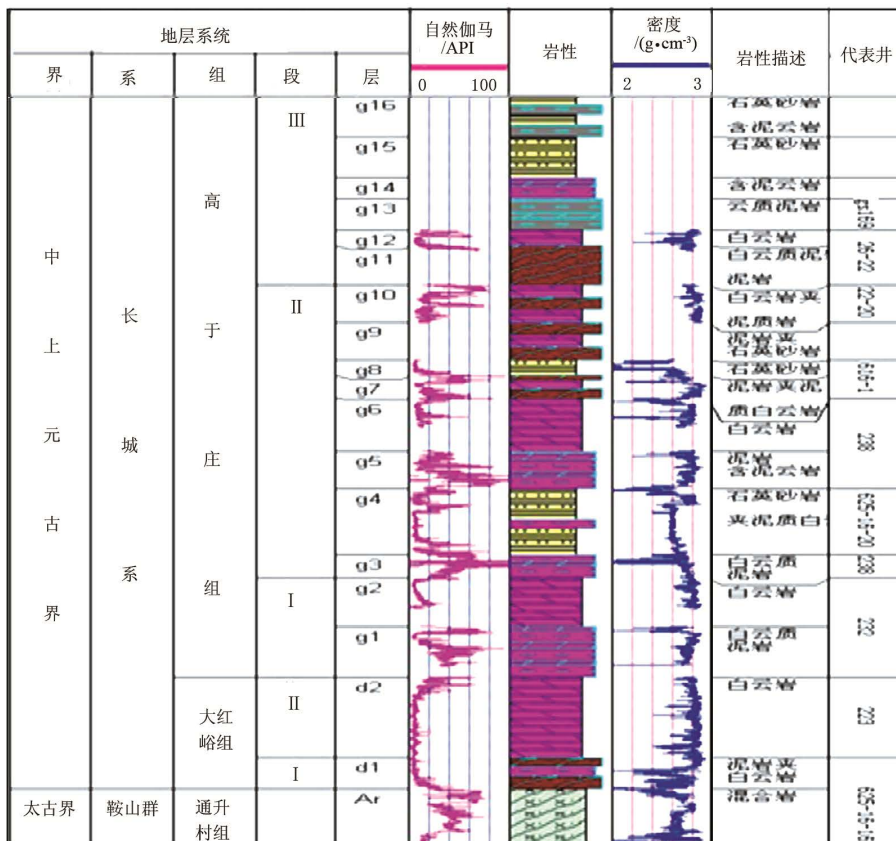
1. 引言

裂缝型潜山油气藏作为辽河油区勘探开发的重要方向, 在研究与生产过程中已证明其含油潜力, 其仍是未来主要发展方向之一[1] [2] [3]。相对于直井开采, 潜山油气藏普遍采用水平井来提高钻遇裂缝的几率。但已钻井实践表明单纯依赖地质设计, 施工与预期目标往往存在一定的出入, 不同单井之间产量差异很大, 一方面是由于储层裂缝发育不均匀的地质本身客观因素; 另一方面是对潜山水平井缺乏有效的实钻跟踪方法, 无法给出合理的预测模型与轨迹优化建议, 无法指导轨迹在最优储层中钻进, 地质导向技术应用受到约束。针对该问题, 笔者重点对潜山油气藏地质导向的裂缝储层建模方法进行研究, 通过合理的模型建立来指导导向跟踪。目前对于裂缝型油气藏建模方面通常针对范围较大的工区进行宏观研究[4] [5] [6], 而对于如具体水平井施工的微观角度方面内容较少。笔者根据所选研究区块的储层特点采用两种建模思路进行探讨, 一种是基于层状地层的导向模式, 另一种是基于多种数据体融合的裂缝随机建模模式。通过方法的分析与应用, 来实现在最优裂缝储层内精准导向。

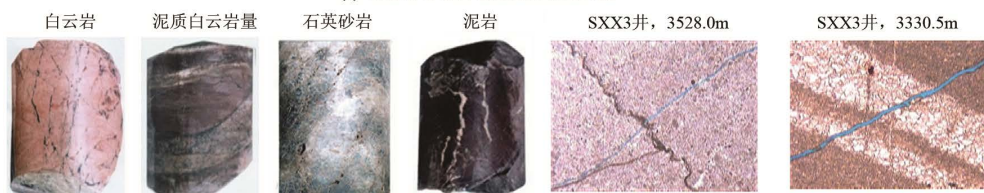
2. S 区块元古界潜山油藏特征

选取辽河油区内 S 区块元古界潜山作为方法研究对象, 首先对该区块的地质与油藏特征进行简要说

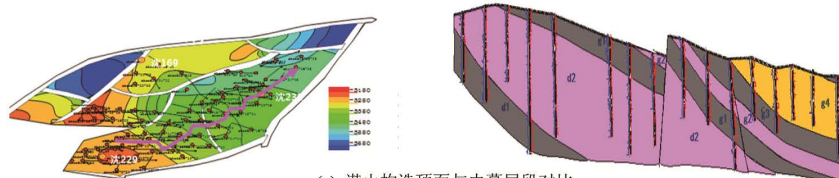
明。① 该块元古界内地层自下而上根据岩性组合特征分为大红峪组、高于庄组，其中大红峪组划分为d1、d2共2个层段，高于庄组划分g1~g13共13个层段，标志性曲线主要为伽马与密度测井曲线，见图1(a)；② 该潜山内主要的岩石类型为白云岩、石英砂岩、泥质白云岩、泥岩、板岩，见图1(b)；③ 储层岩性以肉红色白云岩和灰白色石英砂岩为主，储集空间以中高角度的构造缝为主，次为溶洞、溶孔及基质孔隙，见图1(b)，油层分布主要受岩性控制，发育在d2、g2、g4等偶数小层中，油层在平面上呈条带状分布，d1、g1、g3等层段作为隔层稳定分布；④ 潜山内幕为一个向北东方向倾斜的单斜构造，呈准层状分布，潜山顶面剥蚀程度不同，自西南向东北地层逐渐变新，见图1(c)。



(a) 元古界潜山内幕层段综合柱状图



(b) 潜山内幕主要岩性与储层空间



(c) 潜山构造顶面与内幕层段对比

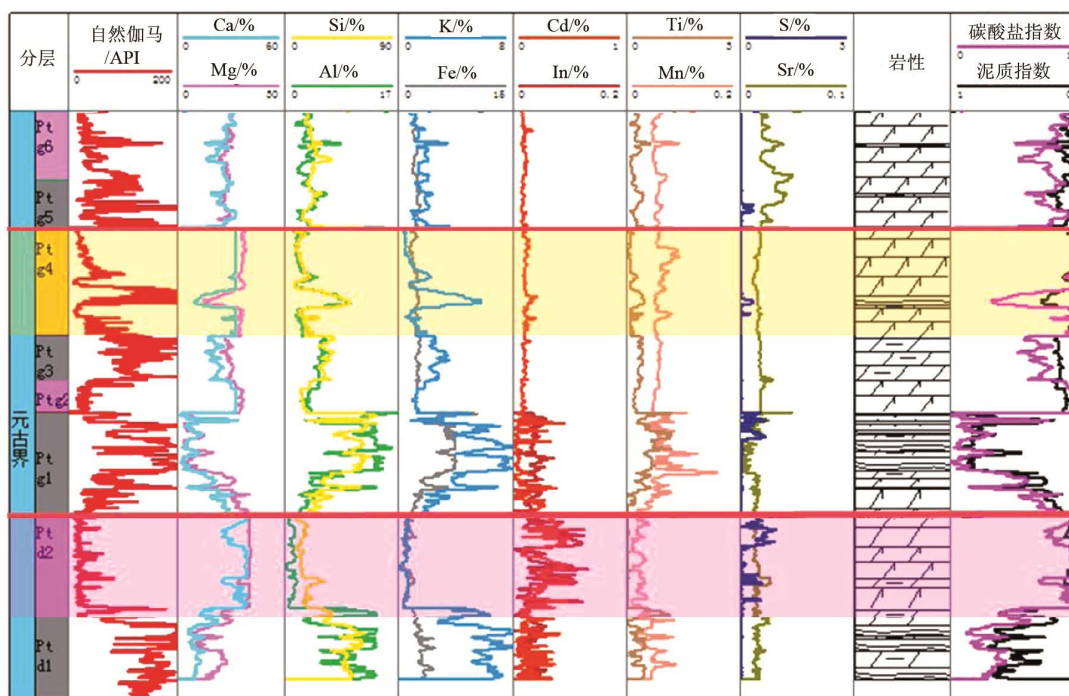
Figure 1. The basic features of Proterozoic buried hill geology and reservoir in Block S
图1. S块元古界潜山地质与油藏基本特征

3. 基于层状地层的导向模式分析

层状地层模型是砂泥岩等沉积岩类储层地质导向应用中分析的基础[7][8]。基于潜山内幕层段呈准层状分布的特点，首先采取层状地层模式方法建立潜山导向模型，识别最优的裂缝发育储层部位，并建立潜山导向工作流程，定性地指导实钻井轨迹状态跟踪与调整。

3.1. 潜山内幕层段特征对比

层状地层模型首先以单井分析为基础，识别潜山内幕不同层段的曲线特征。为了提高现场跟踪过程中地层对比的准确性，引入元素录井技术，图 2 为利用该区内已钻井的岩屑样本检测数据结合自然伽马绘制的潜山内幕 g6-d2 层段综合柱状图。图中不同层段之间具有明显的界面，如 g5 板岩隔层段进入 g4 段石英砂岩储层：① 自然伽马值由高幅度锯齿状变低；② Ca、Mg 元素呈突降特征，Si、Al 呈突增特征。g1 板岩隔层段进入 d2 段白云岩储层：① 自然伽马值由高幅度锯齿状变低幅度似平坦状；② Ca、Mg 元素呈逐渐增大后突降特征，Si、Al 呈逐渐降低后突增特征。通过层段对比与卡取一方面准确指导轨迹进入设计含油层段，另一方面可以用于计算层段倾角，修正靶点深度。



注：Ca、Mg、Si、Al、K、Fe、Cd、In、Ti、Mn、S、Sr 分别为钙、镁、硅、铝、钾、铁、镉、铟、钛、锰、硫、锶的质量分数。

Figure 2. The comprehensive histogram of inside element logging of Proterozoic buried hill in Block S
图 2. S 块元古界潜山内幕元素录井曲线综合柱状图

3.2. 主要含油层段的精细划分

根据元素曲线的细微变化对内幕含油层段进行详细划分，优中选优，识别最优的裂缝发育储层部位，建立精细的导向模型。图 3(a) 中将 g4 层段细分为 g4 上-1、g4 上-2、g4 上-3、g4 下-1、g4 下-2、g4 下-3 这样 6 个小层，其中 g4 上-2 与 g4 下-1 为该层段的最优裂缝发育部位；图 3(b) 将 d2 层段细分为 d2-1、d2-2、d2-3、d2-4，其中 d2-2 为最优裂缝发育部位。通过对多口井细分小层进行横向对比，便可作为导向建模的依据。

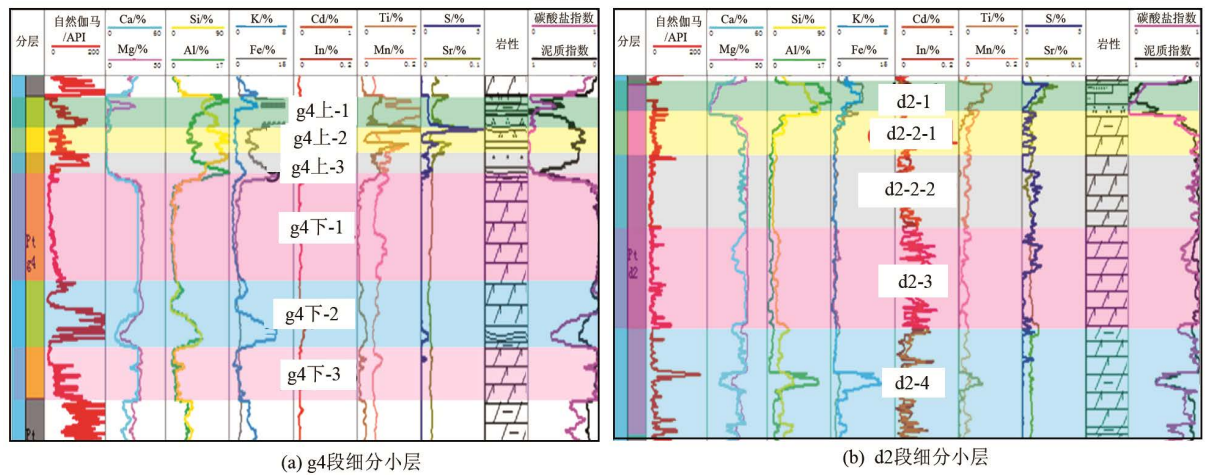


Figure 3. The fine division of sublayers in oil-bearing layers
图 3. 含油层段内精细小层划分

3.3. 层状建模与跟踪流程

层状模式导向工作流程如图 4 所示，钻前阶段通过邻井数据对比划分潜山内幕层段与设计含油层段细分，建立设计井地层剖面，分析设计靶点是否位于有利裂缝部位，与对比分析层位不符时建议初期调整轨迹；实钻过程中通过与标准剖面对比卡取设计层段深度，控制轨迹在最优小层中钻进，并结合地震剖面与已钻轨迹数据来定性分析待钻轨迹可能的钻遇情况。

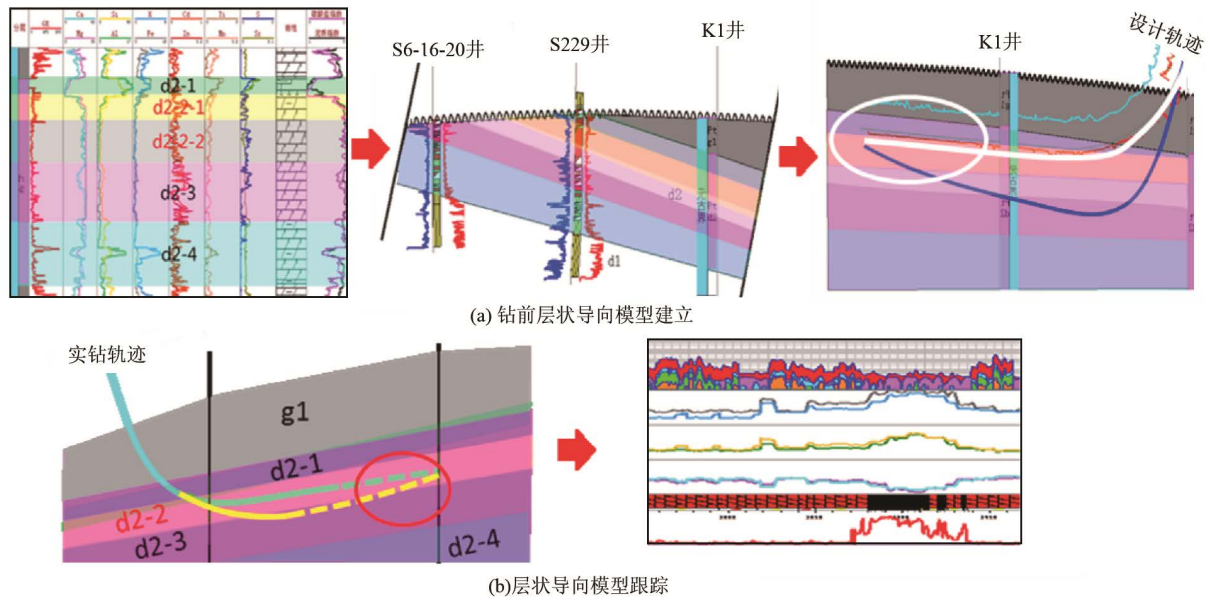


Figure 4. The flow chart of tracking while drilling of the buried hill geosteering laminar mode
图 4. 潜山导向层状模式随钻跟踪工作流程示意图

4. 基于多数据融合裂缝随机建模模式初探

目前裂缝建模广泛应用的是离散裂缝网格模型(DFN)计算方法[9]。借鉴该方法思路并结合待钻水平井工区范围小、细节特征反映要求高的特点，从地质导向需求出发进行初步导向建模方面的探索。

4.1. 裂缝密度曲线建立

为了表述某口井的裂缝分布状态，引入裂缝密度概念，即单位长度内裂缝的数量。裂缝密度的获取最直接的方法是通过岩心统计。但有时单井并未进行全井取心，因此需要寻找对裂缝敏感的曲线建立模型以一定程度上来替代岩心信息。在缺乏成像测井的条件下，一种方法可以利用倾角测井与取心井段结合建立曲线关系，如图 5 所示；或通过计算岩性矿物组分得到云质含量来反映该区裂缝发育程度，含量越高裂缝越发育，相应的密度曲线数值越大。但是由于裂缝分布的复杂性和对测井响应影响的随机性，还需要包含其他数据综合建立计算模型以便得到更合理的结果，如岩屑录井、气测资料、元素录井等资料。

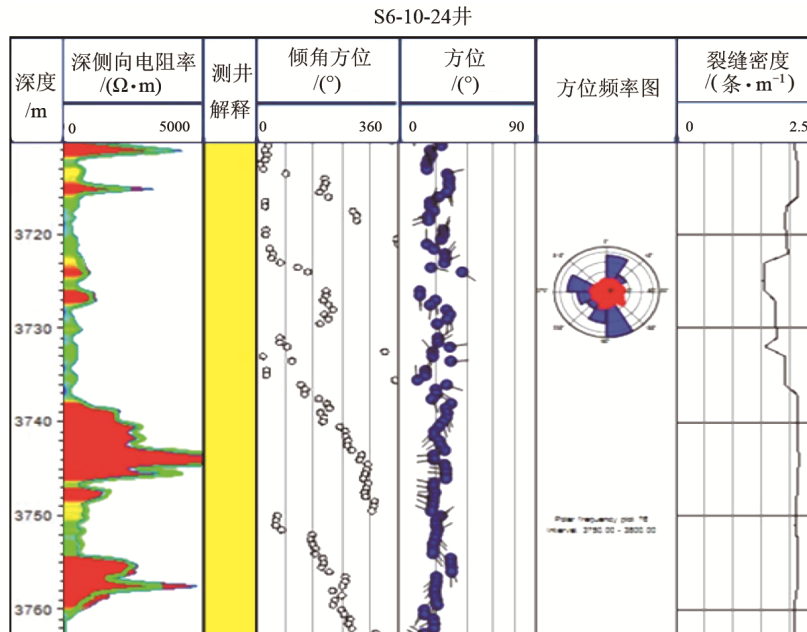


Figure 5. The fracture density curve built with logging data
图 5. 通过测井数据建立裂缝密度曲线

4.2. 裂缝随机模型的建立

开展裂缝随机建模的关键在于选取合理的空间插值规则，然后利用单井裂缝密度曲线与地震体来计算预测裂缝的空间分布特征。建模的基本思路是通过多种数据信息进行分析，把与裂缝相关的信息凸显出来，压制无用的信息。具体来说首先利用单一数据进行简单的空间插值，将得到的结果进行分析，近似估计这个单项数据对裂缝分布的影响权重，然后重复上面的过程，得到其他数据的权重大小，将这些因素结合，按权重继承彼此的空间分布特征，建立裂缝模型。图 6 就是利用单井数据建立的裂缝密度曲线插值数据体、地震属性体、蚂蚁体以及提取裂缝面的数据体作为建模的数据源。

此外，初步考虑了岩石力学、构造应力场对裂缝分布产生的影响，由于直接通过力学分析难度较大，采用分析裂缝与构造之间的关系作为建模的权重控制，一般性认为断层附近伴随有裂缝伴生，两者应力场一致。裂缝发育程度与断层类型、位移量、距断面距离等因素有关。在断层附近裂缝较发育，随着与断面距离的增加，裂缝发育程度降低。在应力场集中的部位，构造面的挠曲度较高，也可以用来控制裂缝空间分布。图 7 是通过赋权距离断面的位置远近关系结合上述其他数据体建立的空间模型，红色条带代表断层走向，图中计算预测的裂缝分布主要集中在断层附近，通过该方式将预测的裂缝空间位置进一步进行约束控制。

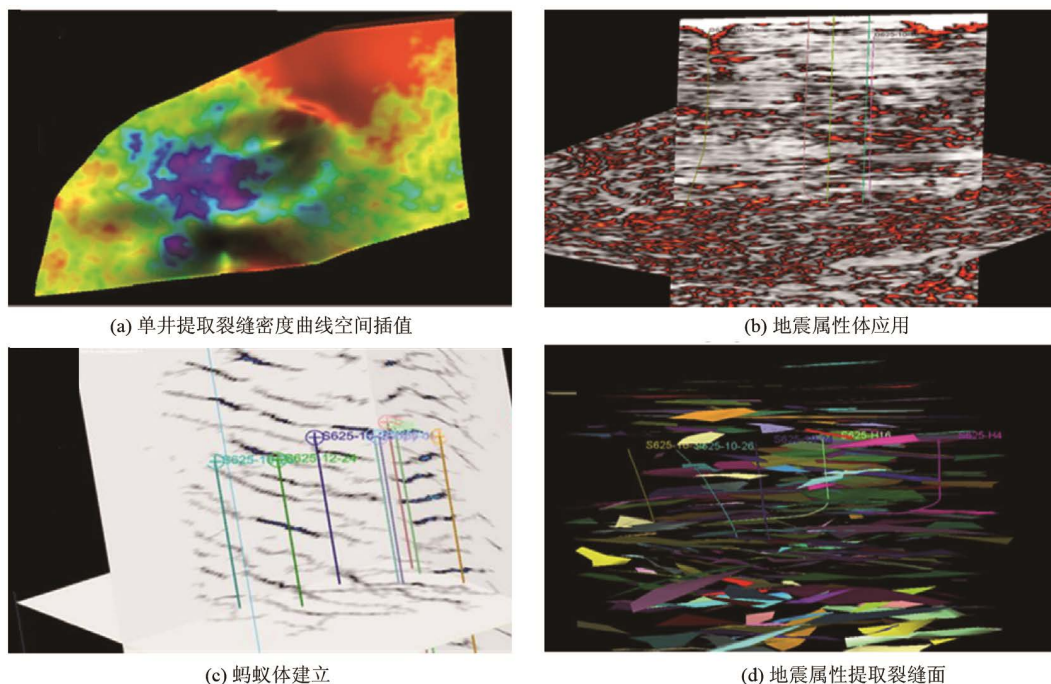


Figure 6. The analysis of data body attribute fusion
图 6. 数据体属性融合分析

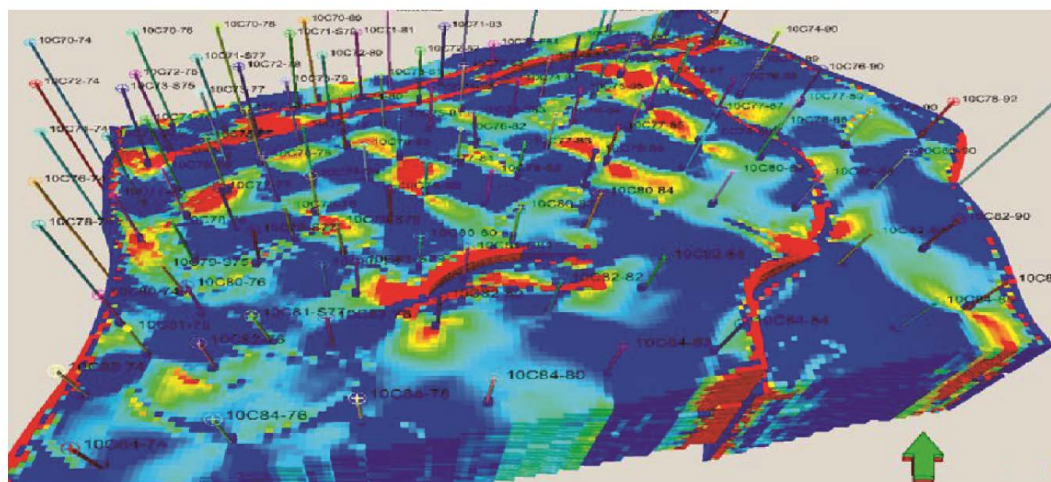


Figure 7. The analysis of fracture modeling with structural factor controlling
图 7. 加入构造因素控制的裂缝建模分析

4.3. 模型合理性检验

对上述建立的裂缝模型截取过井剖面进行合理性验证, 如图 8 所示, 在建模过程中单井的测井解释数据并未参与到裂缝建模的控制因素中, 权重为 0, 因此以它为基准来检验井身轨迹处的裂缝预测情况。图中 A 井的中下段解释为一段致密层(黄色表示), 裂缝不发育, 对应背景的属性模型呈空白特征; B 井的中上段解释为裂缝带(红色与粉色表示), 对应的属性模型呈颜色填充特征, 得到了一定验证, 但个别井段处也发现与模型信息存在矛盾的情况, 分析仍是空间插值规则中控制变量选取与权重设置上不合适所导致, 需要进一步探索。

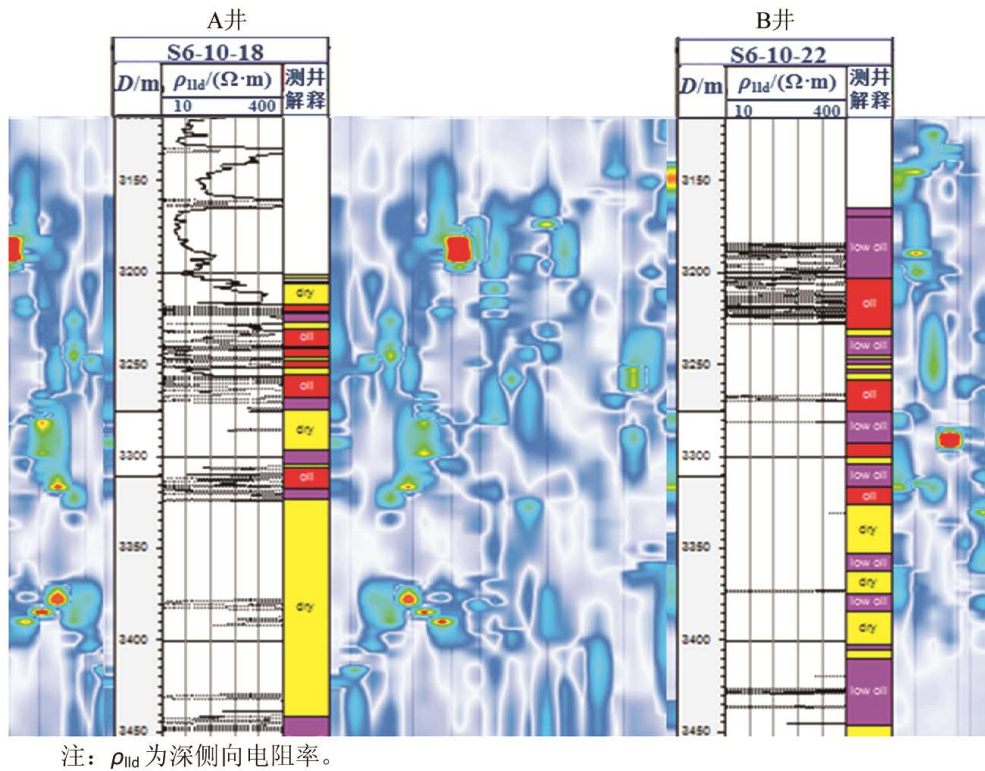


Figure 8. The rationality verification of the fracture model profile through well
图 8. 过井裂缝模型剖面的合理性验证

5. 应用分析

实钻井 H20 井是部署在 S 块元古界潜山边部的一口扩边水平井, 设计目的层段为 d2, 根据笔者所述方法分别建立两种模式的地质导向模型进行跟踪应用, 结果见图 9。该井实钻潜山面为 3244.00 m, 通过随钻自然伽马与元素录井数据对比分析内幕层段, 控制进入裂缝发育部位 d2-2 小层。图 9(a)中, 水平段轨迹一直位于 d2-2 小层内, 气测显示良好, 相对于 d2-1 小层气测组分齐全, 代表着钻遇到裂缝集中带, 说明了层状模型在该地区的适用性, 但该井仍钻遇部分岩性变化井段, 也间接反映了井间地层情况预测的不确定性, 通过层状模型难以反映出来。图 9(b)为过井裂缝模型切片, 从模型中反映该井在水平段后半段会钻遇明显的裂缝发育带, 对应图中红色填充处。在图 9(c)中后半段气测值有所升高间接验证了这点, 反映了该模型在预测非均质性方面的作用, 但在入口点处气测显示与模型认识存在不符, 说明笔者采用的随机裂缝模型方法仍需进一步探索完善, 来提高模型符合率。该井完钻井深 3918.18 m, 水平段长 400 m, 完井试油日产油量 25.4 t, 达到了该井的预期效果。

6. 结论与认识

- 1) 基于细分含油层位选取最优裂缝发育部位的层状模式, 为潜山导向建模提供了有效的指导依据, 一定程度上满足了潜山导向的需求, 该方法的不足是主要基于井数据去分析, 缺乏对井间裂缝发育程度的预测手段。
- 2) 裂缝随机建模以体数据为基础, 通过综合多种数据源来模拟井间裂缝状况, 突出空间非均质性特点, 但该方法在具体控制变量与加权参数选取上仍需进一步摸索, 并进行相关性论证, 提高模型的符合率。

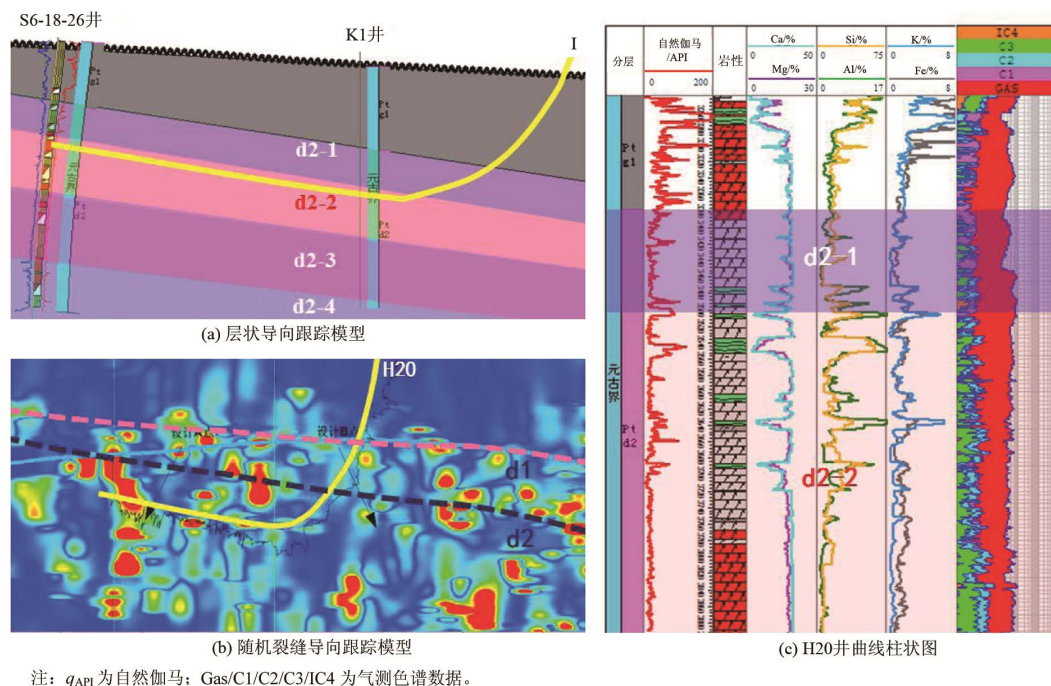


Figure 9. The application of actual well drilling model
图 9. 实钻井模型应用

3) 针对层状建模模式的导向跟踪技术较为成熟, 下一步便是将其与裂缝随机建模的思想进行有效融合与运用, 并进行优势岩相控制, 使裂缝型油气藏的地质导向模型更全面地刻画地下信息, 实现精确导向。

参考文献 (References)

- [1] 曲军. 辽河盆地大民屯凹陷元古界潜山储层研究[D]: [硕士学位论文]. 大庆: 东北石油大学, 2006.
- [2] 李云松. 辽河拗陷兴隆台变质岩潜山储层识别及评价[J]. 中国石油勘探, 2008, 13(5): 49-53.
- [3] 余鹏. 潜山裂缝储层预测技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 东营: 中国石油大学, 2010.
- [4] 王建华. DFN 模型裂缝建模新技术[J]. 断块油气田, 2008, 15(6): 55-58.
- [5] 聂永生, 田景春, 魏生祥, 等. 裂缝三维地质建模的难点与对策[J]. 油气地质与采收率, 2013, 20(2): 39-41.
- [6] 顾少华, 刘月田, 范乐宾, 等. 变质岩裂缝性潜山油藏储层建模方法研究[J]. 断块油气田, 2012, 19(3): 312-315.
- [7] 李一超, 王志战, 秦黎明, 等. 水平井地质导向录井关键技术[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(5): 620-625.
- [8] 窦松江, 赵平起. 水平井随钻地质导向方法的研究与应用[J]. 海洋石油, 2009, 29(4): 77-82.
- [9] 郎晓玲, 郭召杰. 基于 DFN 离散裂缝网络模型的裂缝性储层建模方法[J]. 北京大学学报(自然科学版), 2013, 49(6): 964-972.

[编辑] 黄鹂

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：jogt@hanspub.org