

多层致密薄互储层预测技术应用效果分析

毛立全, 杨自强

大庆油田有限责任公司第九采油厂, 黑龙江 大庆

收稿日期: 2024年2月19日; 录用日期: 2024年3月18日; 发布日期: 2024年3月28日

摘要

随着油气资源新发现储量品味越来越低, 勘探开发技术面临新的挑战。本文重点研究了多层致密薄互储层油藏的地震预测和滚动跟踪预测技术及其应用效果。在分片地震资料处理的基础上, 采用多方法联合反演、多层储层综合评价、“三轮三定”滚动跟踪预测、“抠干抠钙”反演技术对研究区进行储层预测和滚动跟踪预测, 屏蔽干层和钙质层的影响, 全面表达了厚层状油藏的总体横向变化趋势, 并通过滚动预测, 及时取消、增补、调整下步钻井实施井位, 有效地保证了钻井成功率。

关键词

分片处理, 多方法联合反演, 滚动跟踪预测

Analysis of Application Effect of Scattered Tight Thin Reservoir Prediction Technology

Liquan Mao, Ziqiang Yang

NO. 9 Oil Production Plant, Daqing Oil Field Co. Ltd., CNPC, Daqing Heilongjiang

Received: Feb. 19th, 2024; accepted: Mar. 18th, 2024; published: Mar. 28th, 2024

Abstract

With the reserve grade of new discovery of oil and gas resources getting lower and lower, exploration and development technology faces new challenges. This paper focuses on the seismic prediction and rolling tracking prediction technology of scattered tight thin reservoir and its application effect. base on the slice processing, Multi method joint inversion, multi-layer reservoir comprehensive evaluation, “three rounds and three determinations” rolling prediction, dry layer and calcium layer deduction technology are adopted to carry out reservoir prediction and rolling tracking prediction methods in the study area, shield the influence of dry layer and calcium layer, comprehensively express the overall lateral change trend of thick multi-layer reservoir, and through

rolling prediction, the newly completed drilling compliance rate is gradually improved, effectively ensuring the drilling success rate.

Keywords

Slice Processing, Multi Method Joint Inversion, Rolling Tracking Prediction

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

我国致密油地质资源 125.8 亿吨, 可采 13 亿吨, 2011 年致密油勘探开发全面启动以来取得了显著进展, 发现了鄂尔多斯、松辽、准噶尔、三塘湖等多个致密油规模储量区, 探明储量约 3 亿吨[1], 截至 2018 年底, 中国陆相致密油已建成产能 315.5 万吨[2], 致密油已成为中国非常规石油中最重要的领域之一。大庆油田作为新中国成立以来最重大的油气资源勘探发现, 半个多世纪以来, 始终从勘探、开发、生产工艺等多个领域引领中国油气行业发展方向。历时 60 年的勘探开发, 常规油气储量探明程度已经达到较高水平, 随着勘探、开发、开采工艺技术水平的进步, 大庆油田已经开始迈步走向非常规油气领域。致密油是大庆油田非常规油气的重要领域, 目前致密油的勘探开发还处于起步阶段, 地质特征认识程度较低[3], 尤其是致密储层识别技术上存在瓶颈级难题。致密油储层的物性界限一般确定为地面空气渗透率小于 1 mD, 是与生油岩互层、紧邻的致密砂岩、致密碳酸盐岩等储集层内, 未经过大规模长距离运移的石油聚集油藏, 一般流体性质相对简单, 以岩性油藏为主, 不受构造控制, 以油层和干层为主。致密油储层与生油岩紧邻或互层的特点, 决定了其埋藏深度较大, 压实程度高, 成岩作用强, 导致砂泥岩阻抗明显减小, 给储层预测带来了难度。而扶余油层作为大庆长垣西部外围油田致密油主要储层之一, 在埋藏深的同时, 还具有厚度薄、砂岩泥质含量高、泥岩砂质含量高的主要特点, 储层预测难度可想而知。

为促进扶余油层难采储量有效动用, 2018 年开辟了 A 区致密油国家示范工程和股份公司致密油藏效益建产示范区。该区主要目的层为扶余油层, 埋深约 1900 m。从沉积特征看, 扶余油层受西部短物源控制, 在该区入湖, 入湖带普遍发育多层叠置型油藏, 主力层发育不明显, 储层连续性差, 平均单层砂岩厚度 1.8 m, 有效 1.3 m, 以泥质粉砂岩为主, 属低渗、特低渗储层, 入湖带以上的水上部分河道宽度约 300~600 m, 砂体发育相对较为集中。整体看, 油藏类型以岩性控藏为主, 基本不受构造因素影响, 流体性质以油层和干层为主, 是典型的致密储层特征。由于研究区主力层不突出, 横向变化快, 纵向分布“广”且“散”, 不适合水平井开发。在公司政策大力支持下, 针对该区地质特征, 开启了致密油大斜度、平台式、多层储层立体批量钻建开发模式, 依据地震-地质结合研究, 为该区系统研究、井位部署、跟踪调整提供强有力的政策保障。在以上地质特征、钻建模式条件下, 为确保钻井成功率, 有效指导井位运行, 储层预测是该区重点研究内容之一。

研究区储层发育层多且薄, 薄层是现阶段各大油田面临或即将面临的重要难题, 对于储层预测是十分不利的。薄层通常指的是低于常规储层的分辨率极限, 对于地震分辨率极限很多的文章和教科书认为是 $\lambda/4$ [4], 同时地震分辨率与频宽成正比, 且零相位子波具有更高的分辨能力[5]。“薄层”还是一个相对的概念, 地震的分辨率自上而下不是一成不变的, 且具有随着深度加深而逐渐降低的特征[6], 也就是说随着深度的增加, “薄层”的厚度越来越小, 地震识别能力越来越差。在地震研究领域, 对于薄层

预测的探讨从来没有停止过, 1953年 Riker [7]最早提出薄层的反射问题; 1979年 Neidell [8]将 1/4 波长对应的薄层厚度定为调谐厚度; 1980年, Koefoed [9]采用褶积方法研究发现, 薄层厚度和振幅有着明显的线性相关关系; 2006年 Liu 和 Marfurt [10]总结出峰值频率与薄层厚度的相对关系; 2015年彭达[11]等通过建立薄互层模型, 采用褶积正演, 多属性分析得出振幅属性对薄层砂体累计更为敏感。

目前由于目标品味越来越低, 薄层越来越薄, 预测难度也越来越大, 目前对于薄层地震预测方法的研究依旧无法满足生产需求, 问题主要出现在薄层砂体地震响应弱、识别精度低、且对于钻井缺乏实时跟踪指导能力, 所以开展薄互层地震预测方法研究, 是实现薄储层描述和油气预测的重要依据。

2. 致密储层地震预测做法

2.1. 分片处理、分片反演、连片成图

由于研究区涉及多个地震工区, 采集年度跨度大, 地震品质差异大, 若采用常规的连片处理方法, 势必会导致地震资料处理结果品质“就低不就高”, 或出现虚假频带, 影响储层预测效果(图 1)。因此本次研究采取了分片处理地震资料开展储层预测方法研究, 能够充分利用新资料的高品质, 同时老资料能够具备最大程度的保真效果。

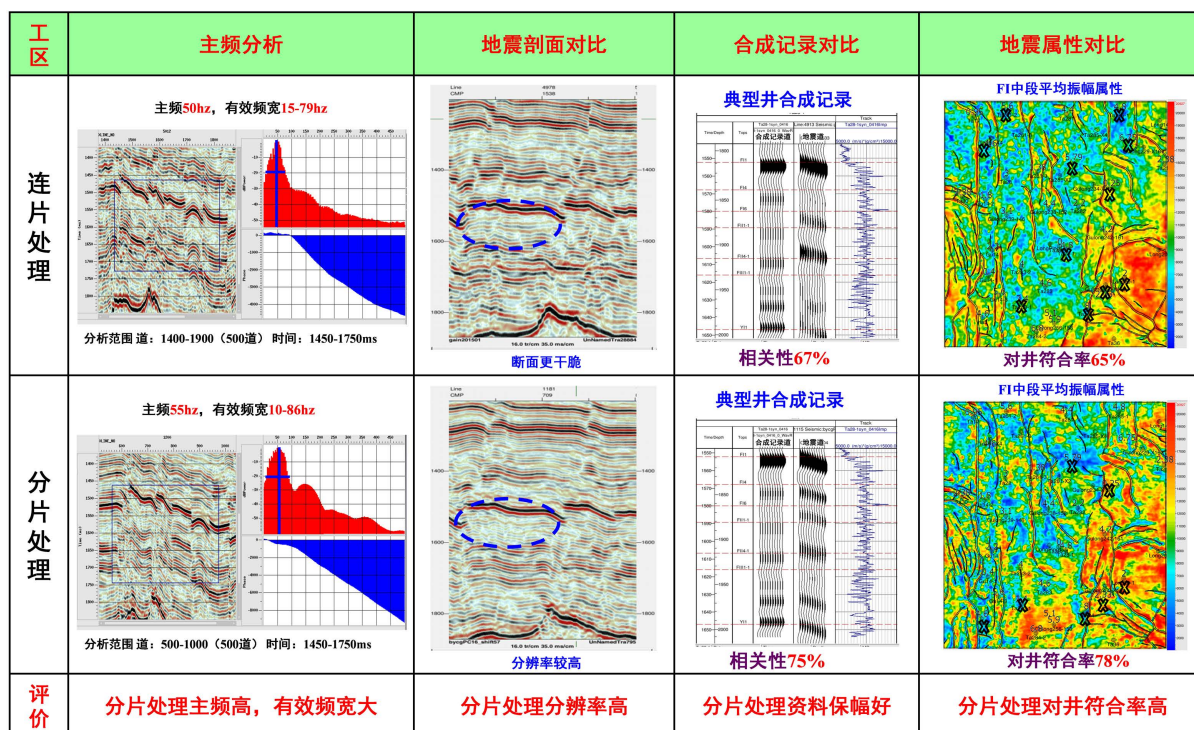


Figure 1. Comparison between separate processing results and contiguous processing results

图 1. 分片与连片地震处理成果对比

2.2. 多反演方法相结合

地震反演是众多储层预测技术中较为有效的方法之一。经过十几年的发展, 尽管其本身存在着许多不足, 但在实际生产中, 无论是进行圈闭评价与探井井位论证, 还是开展油气藏描述及编制开发方案, 都离不开基于地震反演的储层纵、横向预测工作。不同的地震反演方法具有不同的技术特点及适用条件, 如何针对研究区具体情况选择最合适的反演方法, 除了需要对各种反演方法的基本原理、技术关键充分

了解之外, 还须经过实际应用, 不断积累总结经验, 才能恰当地通过它们来解决实际问题。

针对本研究区实际地质情况, 以及大斜度、平台式批量钻建模式的基础条件, 开展地震相控波形指示反演、Z反演相结合的联合反演方法, 发挥不同反演方法的优势, 解决不同焦点问题。

地震相控波形指示反演: 该方法和传统统计学反演最大的区别就在于统计样本的筛选, 传统方法是基于空间域变差函数的, 只能粗略表达空间变异程度, 无法体现相变特征, 而且对样本分布均匀程度要求比较苛刻, 限制该方法的应用领域。地震相控反演利用沉积学基本原理, 充分利用地震波形的横向变化来反应储层空间的相变特征, 进而分析储层垂向岩性组合高频结构特征, 更好地体现了相控的思想, 是一种真正的井震结合高频模拟方法, 使反演结果从完全随机到逐步确定, 同时对井位分布的均匀性没有严格要求, 大大提高了储层反演的精度和适用领域。

Z反演: 该方法的方法原理是通过数学运算, 将井信息作为边界条件求解子波和反演方程, 反演过程中井模型直接参与反演方程求解, 资料要求只需要1口井, 反演结果确定, 纵向分辨率高, 适用于井资料少, 井组的储层预测。但目前的Z反演模块存在的问题是无法进行区域性多井反演, 对于一个井区预测效果较好, 但随着反演半径增大, 运算结果可靠程度降低, 因此该反演方法应用环境受限。

综合以上两种反演方法的优缺点, 在方案部署阶段采用地震相控波形指示反演预测区域优势砂体发育趋势, 优选有利部井区, 完成开发井位部署工作; 为了精细刻画储层展布特征, 刻画单砂体边界, 在目标井区开展Z反演预测, 精细优化井位, 及钻井运行顺序(如图2)。

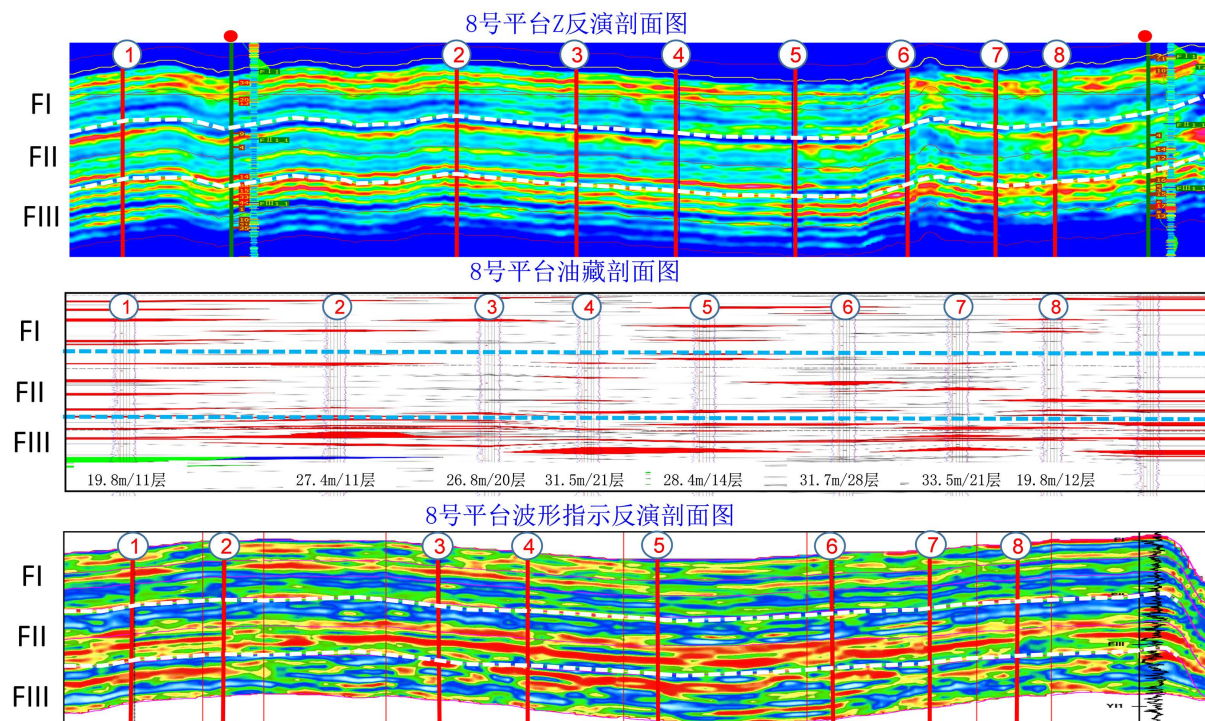


Figure 2. Waveform indication inversion and Z-inversion combined inversion seismic prediction technology

图2. 波形指示、Z反演联合反演地震预测技术

2.3. 多层储层综合评价方法

该区扶余油层地层厚度约200 m, 地层厚度大, 纵向油层多, 不同层组间相互干扰、压制, 相同厚度的砂岩在不同层组间响应特征不同, 导致扶余油层整体提取属性预测砂岩横向变化趋势无法有效表达(如图3)。

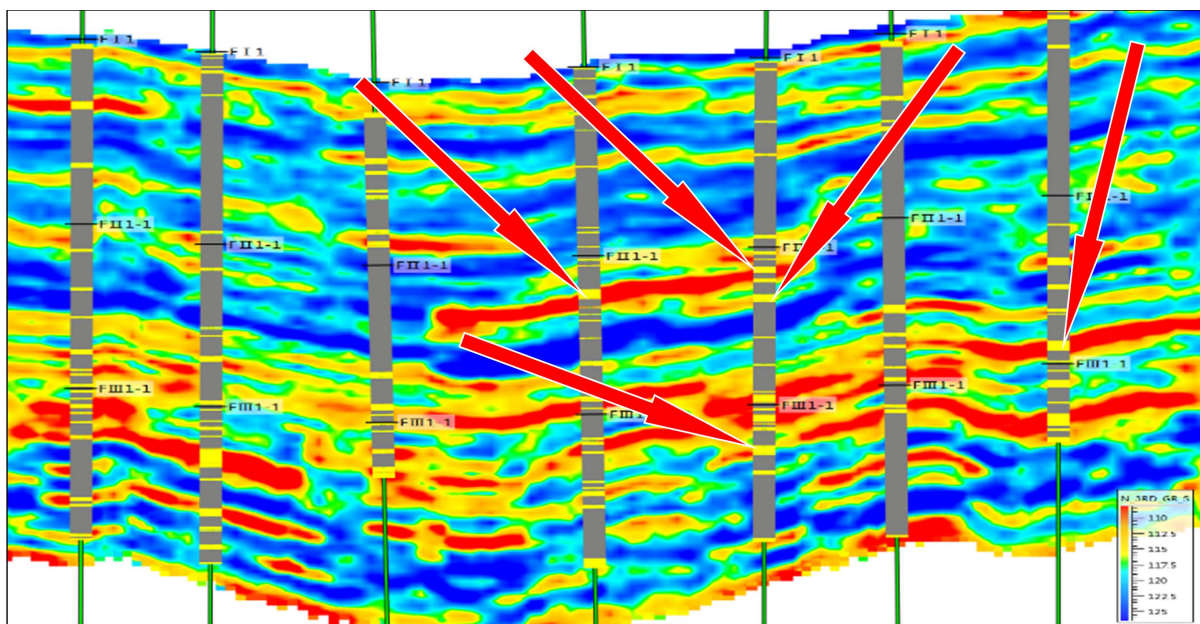


Figure 3. Waveform indication inversion prediction results
图 3. 波形指示反演预测成果剖面

分析认为, 扶余油层按照储层岩性特征及地震识别能力, 可划分为 6 个地层单元进行储层展布特征分析, 分别为 FI 上、中、下段, FII 上、下段和 FIII。在储层反演预测基础上, 分别提取六个层段的均方根振幅属性来表征各层段的储层展布情况。结合已知井砂岩厚度, 将各层段储层划分为 I、II、III 类区域, I 类区砂体较为发育, II 类区次之, III 类区发育较差或不发育(图 4), 将各类区域分别进行均匀散点属性值 1、2、3, 再将 6 层散点属性值叠加, 均匀网格化成扶余油层组综合评价图(如图 5)。在综合评价图上, 可以快速直观的评价储层整体发育程度, 其中红色部分为储层发育有利区, 表征多个地层单元预测为 I 类区, 黄色部分储层发育次之, 蓝色部分储层发育较差或不发育。

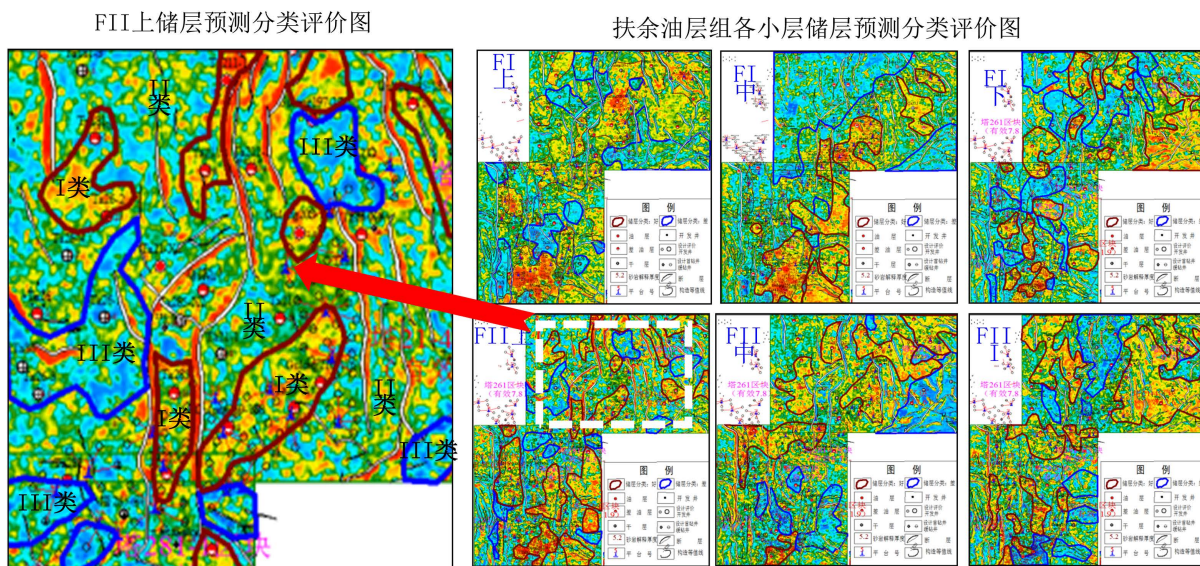


Figure 4. Classification based on reservoir development
图 4. 按照储层发育情况分类

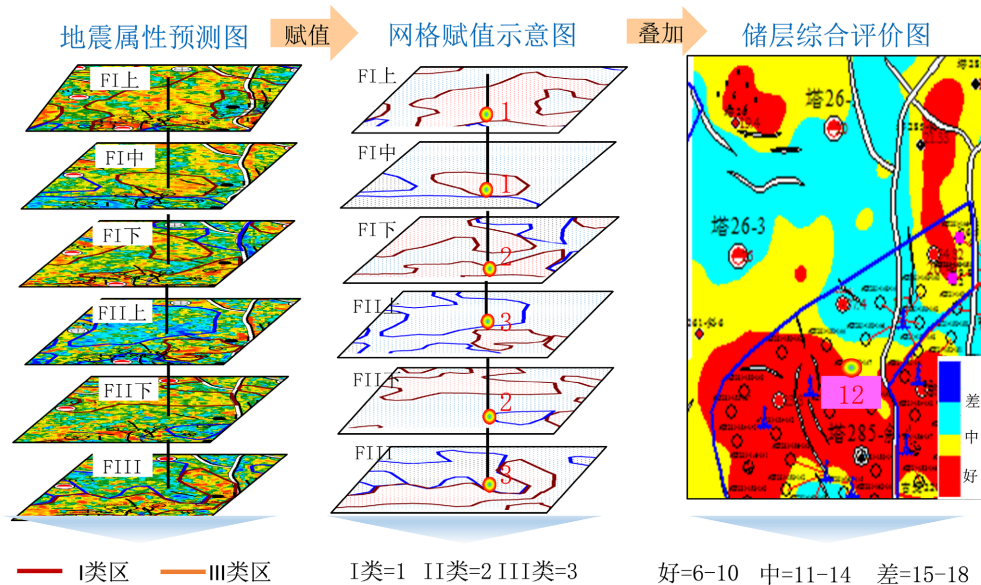


Figure 5. Process for drawing comprehensive evaluation maps for multi-layer reservoirs
图 5. 多层储层综合评价图绘制流程

2.4. 三轮三定的滚动跟踪预测做法

致密油藏的先天特征决定了储层预测难度大, 钻井风险相对较高。为了确保试验区钻井成功率, 借助研究区平台式钻井模式, 及大批量钻机同时钻井的政策优势, 制定了“三轮三定”的滚动预测模式(如图 6), 为各轮次配套相应的反演预测方法。

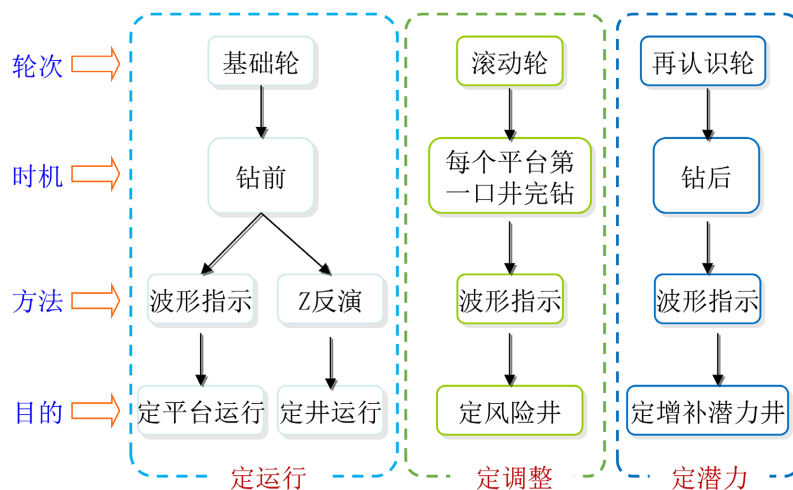


Figure 6. “Three rounds and three fixations” rolling tracking prediction flowchart
图 6. “三轮三定” 滚动跟踪预测流程图

第一轮反演在钻前方案编制阶段开展, 借助地震相控波形指示反演开展致密储层区域性反演预测, 根据反演预测结果圈定有利部井区, 借助 Z 反演高分辨率特点, 确定平台内首钻井。

第二轮反演在每个平台完钻第一口井阶段开展, 在研究区均匀扩充新完钻井资料条件下, 样本点数量和类型更加丰富, 落实区域储层展布规律, 确定调整增、减平台, 落实平台内砂体边界刻画, 调整井位运行顺序。

第三轮反演在所有井完钻后, 利用地震相控波形指示反演, 所有井参与运算, 评价区域外扩潜力, 优选下步部井区块。

通过“三轮三定”的滚动跟踪预测做法适应平台化布井和钻井, 不断提高跟踪预测精度, 实现整体-局部-整体的控制和研究。各轮次的储层预测有效的指导了下一步运行方案的制定和调整, 预测符合率均达到 70% 以上。第二轮储层预测后调整方案, 新井储层预测符合率由 71.43% 提高到 76.47%, 新井钻遇有效厚度也出现小幅度提升。依据储层预测成果, 临时取消 8 个平台共 28 口井, 增补 5 个平台共 25 口井, 增补平台钻探效果较好, 平均单井钻遇有效厚度再次提升, 高于全区平均有效厚度, 钻井成功率 100%, 有效厚度符合率达到 98%, 储层预测有效指导了钻井实施和方案即时优化。

2.5. 干层、钙层剔除的有效储层预测做法

研究区第三轮储层预测成果, 确定了外扩部井区范围, 整体储层预测做法, 为下一轮的井位部署、储层跟踪预测起到了理论和思路上的指导意义。

根据研究区第三轮储层预测成果显示, 下一步外扩潜力区直指水上部分, 北西向短物源河道宽度 300~600 m, 砂体发育相对于入湖带较为集中, 1~2 m 厚度单砂体钻遇比例有所增加(如图 7), 储层发育状况较为有利, 针对该区开展外扩井位部署, 按照研究区钻井经验, 开展滚动跟踪预测研究。

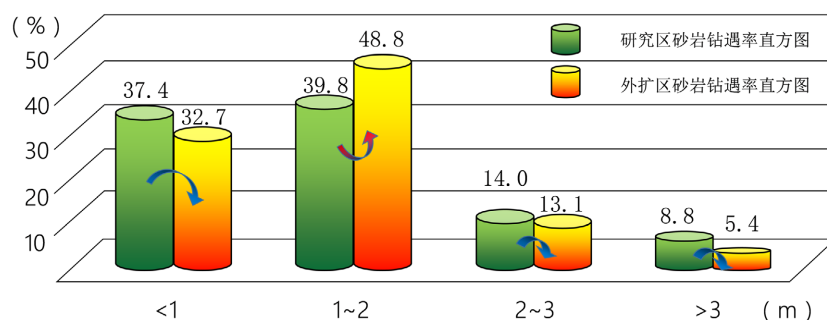


Figure 7. Comparison histogram of drilling encounters in sandstones of different thicknesses in the study area and external expansion area

图 7. 研究区及外扩区不同厚度砂岩钻遇对比直方图

钻井过程中发现, 外扩区储层发育情况与研究区出现了显著差异, 除前文中提及的情况外, 较为突出的问题是钙层和干层大量发育。众所周知, 地震技术之所以能够预测储层发育特征, 机理是识别波阻抗界面, 也就是说地震预测的结果实际是“高速层”的发育特征, 进而得出砂体空间展布特征。然而钙层和干层同样是高速层响应特征, 甚至比渗透性砂岩反应更加清晰。当钙层和干层占比较小时, 可以忽略不计, 但在早期完钻的 10 口井上看, 平均单井干层、钙层总计占全井高速层钻遇厚度的 60.5%, 其中 1 口井占比高达 98.8%, 最终申请报废。钙层和干层的发育对该区的储层预测提出了更高的要求。

针对以上问题, 开展了钙层、干层储层预测实验, 在伽马波形指示模拟储层预测基础上, 尝试扣除钙层和干层影响, 开展了两个方面的研究工作。

声波时差波形指示模拟扣钙

根据完钻井声波时差和深侧向电测曲线岩性解释交会图分析发现, 声波时差可以较好的识别钙层, 深侧向可以在排除钙层影响的前提下有效识别含油砂岩。基于电测曲线分析认识(如图 8), 开展在伽马波形指示模拟识别高速层的基础上, 用声波时差波形指示反演求得钙层发育特征, 用深侧向波形指示模拟求得干层发育特征, 最后, 用钙层预测成果和干层预测成果对高速层预测成果进行二次遮挡, 求得含油砂岩的空间展布特征, 取得了一定的效果。

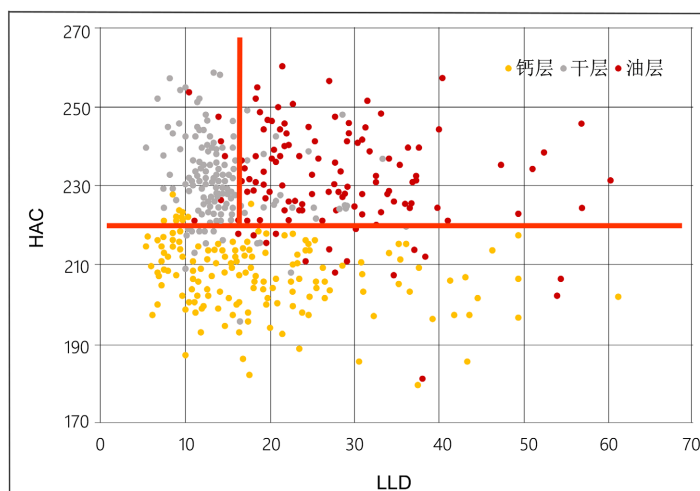


Figure 8. Intersection diagram of acoustic time difference curve and deep lateral curve with lithology interpretation
图 8. 声波时差与深侧向曲线与岩性解释交会图

3. 储层预测效果分析

该区应用“分片处理、联合反演、综合评价、滚动预测、除钙干层”储层预测做法,优化了地震资料处理方案,提高了滚动跟踪反演效果,储层预测符合率随滚动跟踪预测轮次逐步提升,从第一轮预测的71.4%提高到76.5%,钻井成功率100%,其中暂缓实施4个平台、26口井,增补平台5个、25口井,后增补平台平均单井钻遇有效厚度高于全区平均有效厚度,取得了较好的应用效果,储层预测有效指导了钻井实施和方案即时优化。

4. 结论

(1) 地震处理成果数据应用优选原则应将应用方向作为考虑内容之一,连片处理成果对于构造特征分析具有较强的适用性,对于储层发育的区域宏观趋势预测也具有较大的指导意义,但对于精细目标区的砂体发育特征预测而言,分片精细处理成果效果更佳。

(2) 目前众多地震反演软件及算法各具优势,为了使某个研究区的储层预测效果,可结合该区储层发育特征、钻建模式、地质资料情况等综合分析、组合有效反演方法开展联合地震反演预测,对于特定环节、特定目的,能够起到更好的效果。

(3) 针对大套较厚地层,纵向发育层数多且散,易于出现纵向层间干扰,导致扶余油层整体提取属性预测砂岩横向变化趋势无法有效表达,采用多层储层综合评价方法,得到了较好的应用效果。

(4) 为了确保钻井成功率,地震跟踪滚动预测必不可少。新完钻井数据能够丰富反演井数据样本集,使预测精度越来越高。依据实际情况和目的,科学、合理制定滚动预测时机有助于提高预测效率。

(5) 干层、钙层作为与砂岩同样的“高速层”,使地震储层预测方法变得愈加复杂,依据测井相应特征,分析干层、钙层、以及渗透性储层之间的区别,能够为有效储层预测提供理论依据。

参考文献

- [1] 孙龙德, 邹才能, 贾爱林, 等. 中国致密油气发展特征与方向[J]. 石油勘探与开发, 2019, 46(6): 1015-1026.
- [2] 朱如凯, 邹才能, 等. 中国陆相致密油形成机理与富集规律[J]. 2019, 40(6): 1168-1184.
- [3] 史晓东, 战剑飞, 等. 大庆致密油藏水平井开发优化设计方法[C]. 低渗-致密油藏水平井开发技术研讨会论文集. 2018: 36-42.

- [4] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [5] 俞寿朋. 高分辨率地震勘探[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [6] 侯斌, 陈波, 薄永德, 等. 基于地质统计学反演的薄互砂岩储层预测——以高邮凹陷刘五舍次凹为例[J]. 复杂油气藏, 2016(4): 12- 15.
- [7] Ricker, N. (1953) Wavelet Contraction, Wavelet Expansion, and the Control of Seismic Solution. *Geophysics*, **18**, 769-792. <https://doi.org/10.1190/1.1437927>
- [8] Kallweit, R.S. and Wood, L.C. (1982) The Limits of Resolution of Zero-Phase Wavelets. *Geophysics*, **47**, 1035-1046. <https://doi.org/10.1190/1.1441367>
- [9] Koefoed, O. and De Voogd, N. (1980) The Linear Properties of Thin Layers, with an Application to Synthetic Seismograms Over Coal Seams. *Geophysics*, **45**, 1254-1268. <https://doi.org/10.1190/1.1441122>
- [10] Liu, J. and Marfurt, K.J. (2006) Thin Bed Thickness Prediction Using Peak Instantaneous Frequency. 2006 *SEG Annual Meeting*, New Orleans, 1-6 October 2006, 958-972. <https://doi.org/10.1190/1.2370418>
- [11] 彭达, 尹成, 朱永才, 赵虎, 鲍祥生. 扇三角洲前缘薄互层叠置砂体的敏感属性分析[J]. 石油地球物理勘探, 2015, 50(4): 714-722+6. <https://doi.org/10.13810/j.cnki.issn.1000-7210.2015.04.020>