

Progressive Fine Characterization Technology of Thin Reservoir in Tapping the Potential of Old Oilfields

Feng Zhang, Hua Tian, Libo Guo

CNPC BGP INC., Zhuozhou Hebei
Email: zhangfeng08@cnpc.com.cn

Received: Jun. 2nd, 2020; accepted: Jul. 2nd, 2020; published: Sep. 15th, 2020

Abstract

The complexity of geological problems and the limitation of single information determine that reservoir description is a multidisciplinary comprehensive research work. Taking XX oilfield as an example, based on the detail study of the main geological problems in the study area and the analysis of the advantages and disadvantages of different data, in view of the problems of thin and lateral variation of the geological reservoir, the low signal to noise ratio and low resolution of seismic data, the technical process and method of “progressive” fine characterization of single sand body of thin reservoir were put forward for the first time by using the idea of multidiscipline integration of seismic, well logging and reservoir. Reservoir geological characteristics include: 1, sand body distribution prediction technology based on phase controlled zoning statistical inversion; 2, single sand top surface microstructural characterization technology based on high frequency stratigraphic contrast and inversion results; 3, internal structure characterization of single sand based on configuration pattern recognition; based on the above research results, development adjustment recommended 6 wells, rolling evaluation recommended 2 wells, effectively guiding the adjustment of oil field development plan, the effect of increasing oil is obvious. Successful examples show how different scale data can be applied to thin reservoir characterization rationally, which has good potential for popularization and application.

Keywords

Thin Reservoir, Well-Seismic Reservoir Integration, Reservoir Configuration, Oil Sand Body

渐进式薄储层精细表征技术在老油田挖潜中的应用

张 枫, 田 华, 郭立波

中国石油东方地球物理勘探有限责任公司, 河北 涿州
Email: zhangfeng08@cnpc.com.cn

收稿日期: 2020年6月2日; 录用日期: 2020年7月2日; 发布日期: 2020年9月15日

摘 要

地质问题的复杂性和单一信息的局限性决定了油藏描述是多学科的综合研究工作。本文以xx油田为例,在认真解剖研究区主要地质问题,分析不同资料优缺点的基础上,针对地质上储层薄、横向变化大,地震资料低信噪比和低分辨率的问题,采用地震-测井-油藏多学科一体化的思路,首次明确提出了“渐进式”薄储层单砂体精细刻画技术流程与方法。形成的油藏地质特色技术包括:1、基于相控分区统计学反演的砂体分布预测技术;2、基于高频地层对比与反演成果的单砂体顶面微构造表征技术;3、基于构型模式认知的地下单砂体内部结构表征技术;基于上述研究成果提供开发调整建议井位6口,滚动评价建议井位2口,有效指导了油田开发方案的调整,增油效果明显。本文成功示例了不同尺度资料如何合理表征薄储层,具有较好的推广应用潜力。

关键词

薄储层, 井-震-藏一体化, 储层构型, 油砂体

Copyright © 2020 by author(s), Yangtze University 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

薄储层预测一直是油气勘探开发的难题。利用地震资料进行储层预测也是勘探开发的重要方向并在薄储层预测方面取得了一些进展[1]-[6],但受地震分辨率的限制,砂体的空间分布及内部结构预测还存在着预测结果可靠性低、随机性强的问题[7] [8] [9] [10] [11]。本文针对地质上储层薄、横向变化大,地震资料低信噪比和低分辨率的问题,提出了一种采用地震-测井-油藏多信息“渐进式”薄储层单砂体精细刻画方法,解决单一学科储层刻画难问题,合理利用各种信息预测储层的尺度,多信息联合实现了对薄储层的有效预测。具体实现流程如图1所示。

2. 研究区概况

XX 油田 1996 年投产,经历了方案实施上产、注采调整、产量递减及综合治理 4 个阶段,目前综合含水率 85%以上,产量递减及含水上升加快,开发效果变差,稳产形势严峻是油田面临的最主要开发问题。

XX 油田垂向上自上而下包括 CI、CII、CIII 三套油层，平面上自西向东包括三个开发井区。本次所研究的 CI 油组为一套含灰的砂泥段交互潮坪相 - 三角洲相地层，埋深 3170~3270 m 之间，厚度 150 m 左右。储层单层厚度多小于 5 m，岩性以中、细砂岩为主，平均孔隙度为 19.2%，平均渗透率为 $932 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ，属中孔、高渗储层。急需解决的地质难题是：砂体横向变化大，小层顶面构造与单砂体微构造存在差异，油水关系复杂。

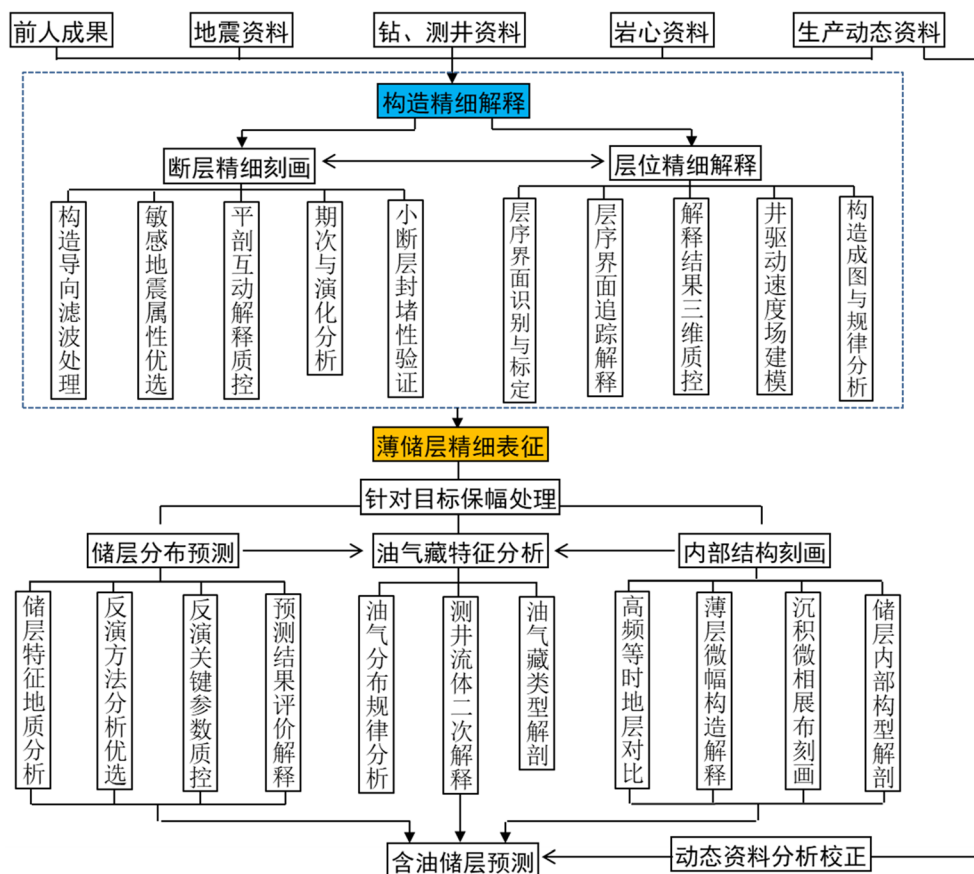


Figure 1. Progressive Fine Characterization flow chart of Thin Reservoir

图 1. 渐进式薄储层预测流程图

3. 基于多学科多尺度信息的砂体分布预测

3.1. 基于相控分区统计学反演的砂体分布预测技术

地质统计学反演的前提条件是对研究区储层要有充分的地质认识，本次研究采用相控分区统计学反演预测 5 m 级别单砂体展布，验证井砂体预测吻合率大于 85%，有效提高了砂体预测精度。这里提到的相控主要表现在两个方面：首先，通过对塔里木盆地巴楚地区石炭系野外露头的层序地层研究，明确了地下研究区 CI 油组的地层沉积结构与相序特征，总体上说 CI 油组沉积时水体先下降后上升，发育 2 个三级层序、4 个体系域(自下而上为海侵体系域、高位体系域、低位体系域和海侵体系域)。受层序地层结构控制，砂体垂向上具有明显沉积相序变化，依次发育以泥坪为主的孤立薄砂体、以三角洲前缘为主的连片厚砂体、以砂坪为主的连片薄砂体。相序的上述变化直接关系到不同层系的岩性概率分布特征。其次，基于粒度、沉积构造、ZTR 指数、地层切片首次提出不同井区相带东西分异，这一结论改变了油田

原有认识。研究认为 CI 油组下部储层在西部的 CC 井区主要为潮坪沉积, 在东部的 AA 井区为三角洲前缘沉积, 而介于二者之间的 BB 井区则是过渡性沉积。这一认识有效指导了分块反演中的变差函数设置。基于上述地质研究所开展的统计学反演结果更加符合地质规律, 反演分辨率能够满足单层级别砂体预测(图 2)。

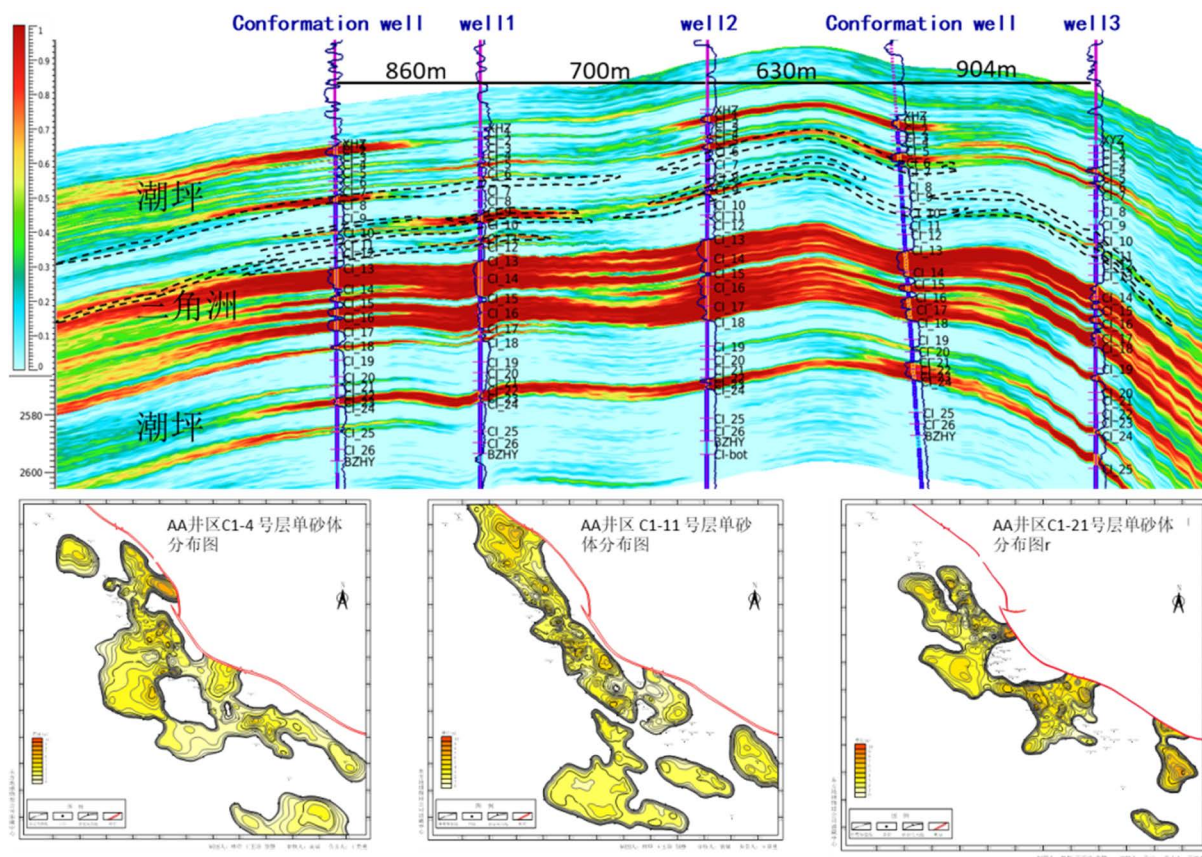


Figure 2. The geostatistics inversion profile and sand body thickness contour maps

图 2. 相控统计学反演剖面及砂体预测成果

3.2. 基于高频地层对比与反演成果的单砂体顶面微构造表征技术

精细油藏描述中所涉及的单砂体微构造与构造解释中的微幅度构造是两个不同的概念。前者主要是由于砂体的高低起伏和差异压实所形成, 属于沉积成因; 后者则属于构造范畴。本次对单砂体顶面微构造的研究主要基于高频等时地层对比与上述反演追踪的砂体成果。其中, 高频地层对比主要采用的是多级标志层控制、反演约束、沉积模式指导、井上断点识别的思路开展的, 这里以沉积模式指导为例简要说明。鉴于研究区发育大量的水道化沉积(分流河道、潮道), 因此在对比过程中首先充分调研水道化沉积模式及内部沉积序列, 然后通过局部标志层拉平、测井与反演成果相结合, 开展侧向砂体厚度突变和水道化下切模式指导下的精细井间地层对比(图 3)。

在高频地层精细对比的前提下, 从单井上读取单砂体顶面构造数值, 然后以这些数值作为约束, 对反演出来的砂体顶面进行精细追踪和校正, 刻画单砂体微构造。采用这种方法所得到的单砂体顶面微构造叠合反演储层平面展布图, 油水关系更合理, 有效解决了原有地震解释构造图上的局部油水矛盾现象(图 4)。

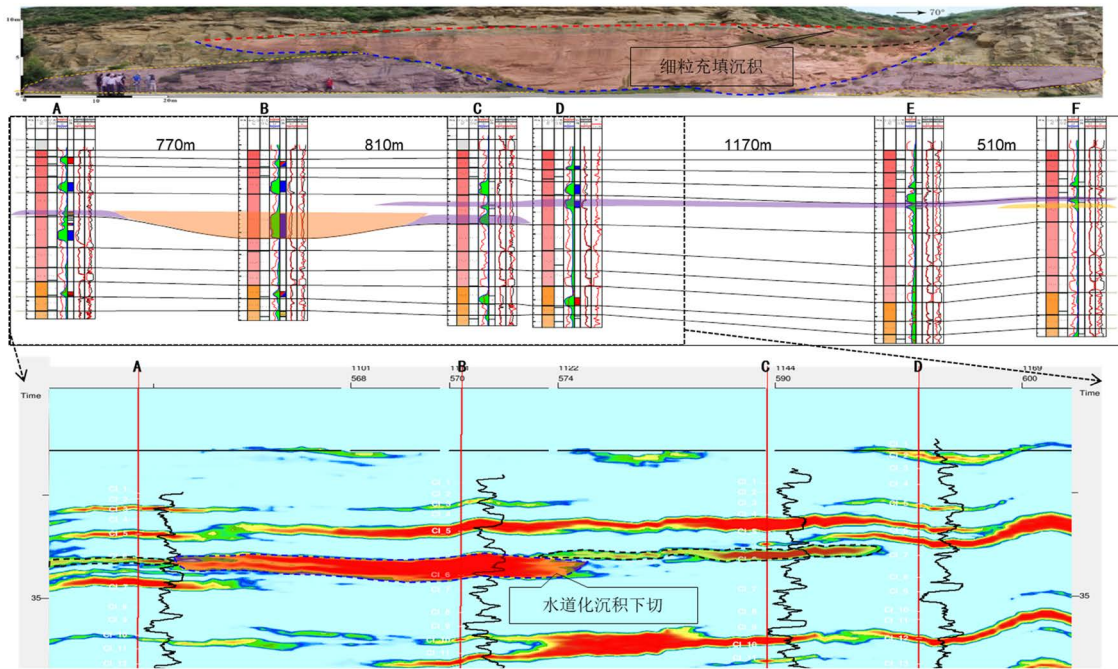


Figure 3. Well-to-seismic integration stratigraphic correlation based on the depositional model
图 3. 模式指导下的井震结合侧向相变地层对比实例

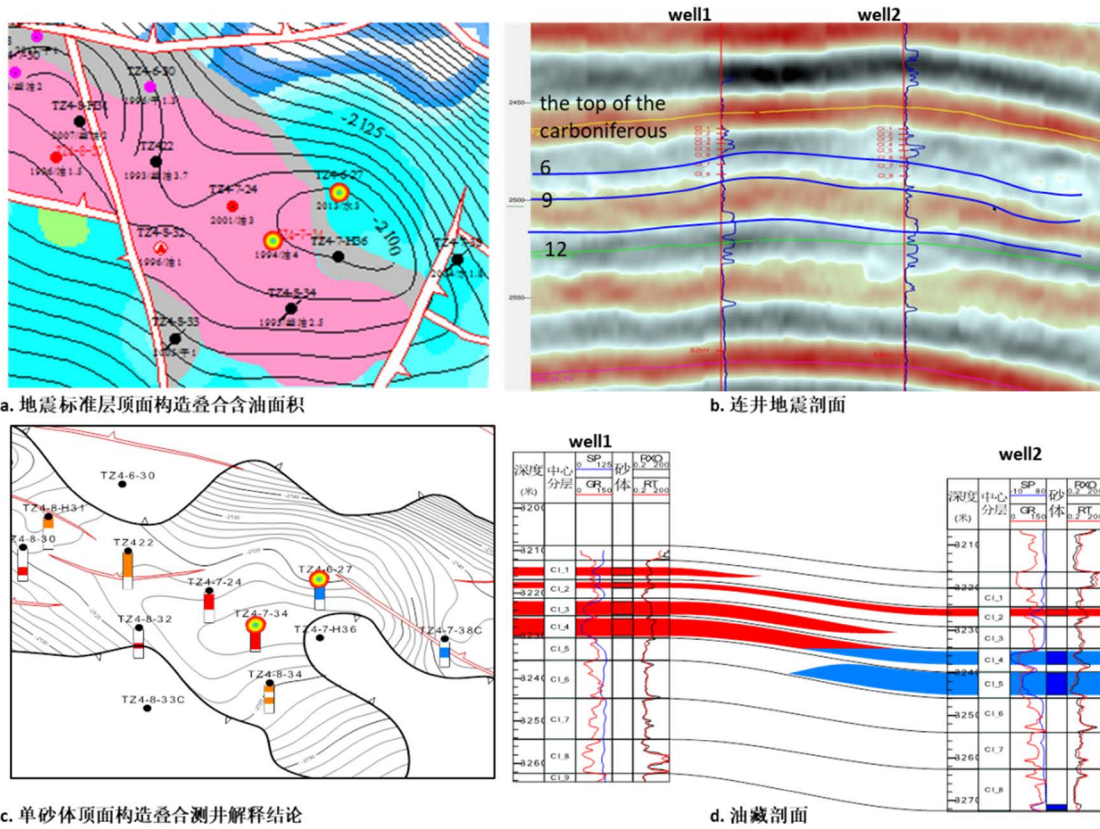


Figure 4. Sandbody top surface of micro tectonic and its effect on oil-water relationship
图 4. 砂体顶面微构造解释成果及其对油水关系的刻画

4. 基于构型模式认知的地下单砂体内部结构表征

砂体刻画的目的在于搞清砂体的成因类型及空间分布规律,对于开发中晚期单砂体之间的叠置关系和渗流屏障是影响开发效果的主控因素。下面以开发井区重点层位为例,对复合砂体内部结构进行表征。

常规砂体与沉积相研究表明,AA井区19号为典型三角洲前缘沉积,发育分流河道和前缘砂,砂体平面上看似连片分布,但相邻生产井的产液量和动液面却存在明显的差异(图5)。A井2012年6月开始生产CI31-2单层,至2016年10月日产油量和动液面逐步降低,基本不产水;B井2014年8月投产CI31-2单层,其生产曲线特征,特别是动液面变化与A井非常相似;而位于这两口井以东的C井虽然于2015年11月也开始生产这一单层,但只产水不出油(图6)。在基于前期构造研究成果排除断层干扰的前提下,推测造成“连片砂体”不连通的原因主要在于复合砂体内部边界的遮挡。

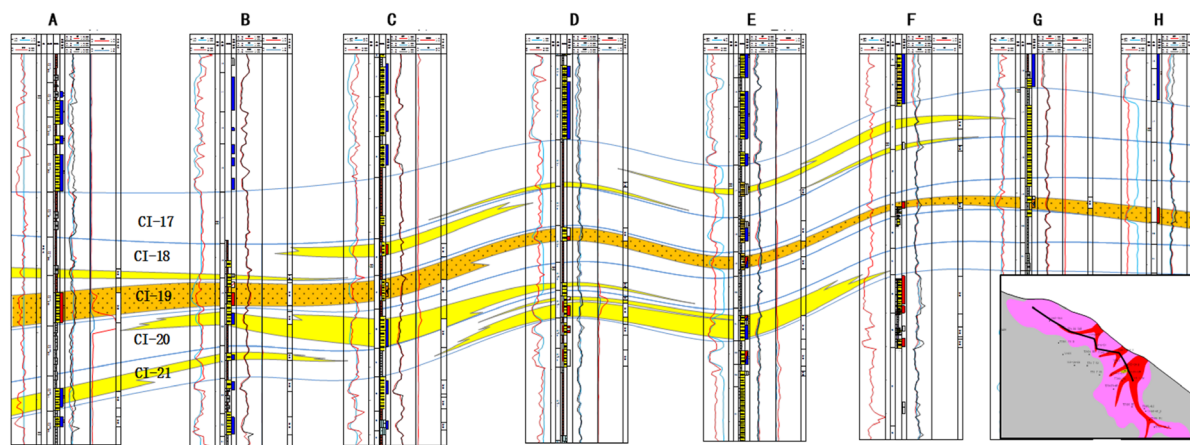


Figure 5. Sandbody correlation and deposition microfacies of 19 layer

图5. AA井区19号单层常规砂体对比剖面及沉积微相平面图

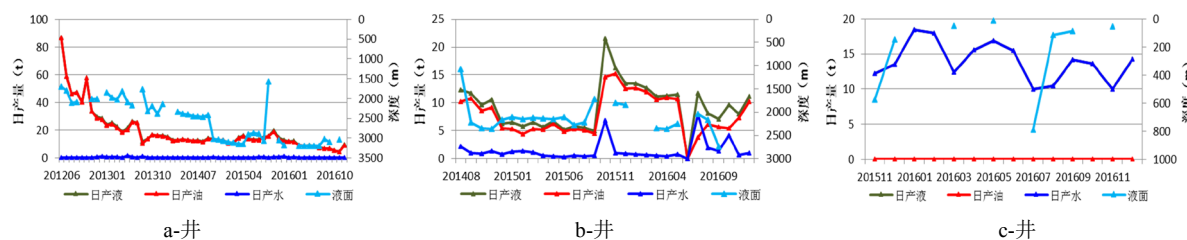


Figure 6. Production curve of correlation well in 19 layer

图6. AA区生产19号层相邻井生产曲线特征

通过分析统计学反演过井剖面后发现,AA井区19号单层实际上是由两期前缘砂体垂向叠置而成,两期砂体在B井上均被钻遇。其中,靠近底部这套砂体主要在AA井区西侧发育,而靠近顶部的砂体则主要发育在AA井区的东侧(图7)。也就是说,不同期砂体之间的垂向叠置造成了单层内部砂体间的不连通。基于19号层顶部泥岩标志层拉平的连井剖面,从砂体类型分析,这三口井所钻遇的底部复合砂体是由三角洲前缘分流河道与其所对应的前缘砂组成,顶部复合砂体是由薄层溢岸砂与另一前缘砂组成(图8)。

5. 结束语

认识油藏改造油藏是油气田开发永恒的主体,随着油田开发程度的提高,对储层预测要求的精度越来越高,尺度越来越小,而地震资料、井资料、动态资料在认识油藏的过程中都有其优缺点和极限,如

何综合用好这些资料表征储层以满足开发需求是值得思考的问题。本文针对碎屑岩薄储层开发晚期所面临的稳产形势严峻、剩余油预测难度大等问题，探索性的提出井-震-藏多信息结合的“渐进式”单砂体精细刻画技术流程与方法。该方法融合多种信息，同时又合理使用各种信息识别储层的尺度，有效解决了单一信息准确刻画砂体的难题。

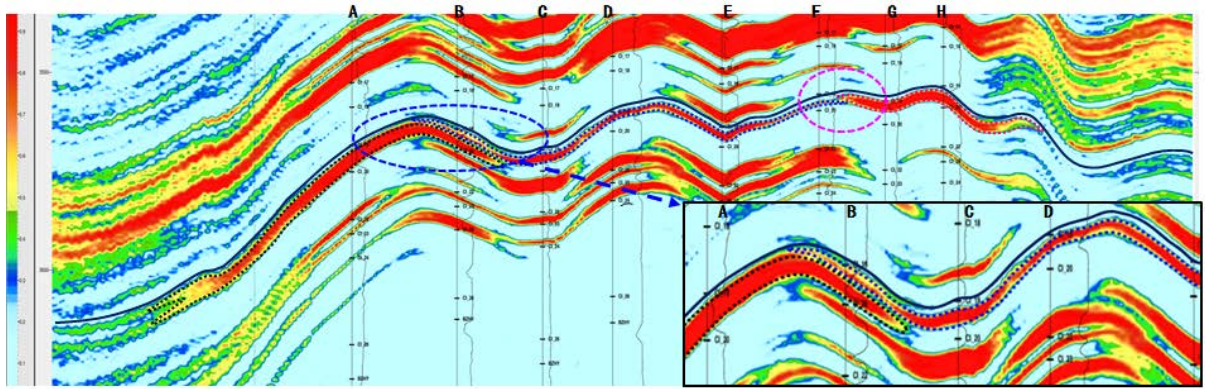


Figure 7. The geostatistics inversion sand chance profile of 19 layer
图 7. AA 井区 19 号单层统计学反演砂岩概率剖面

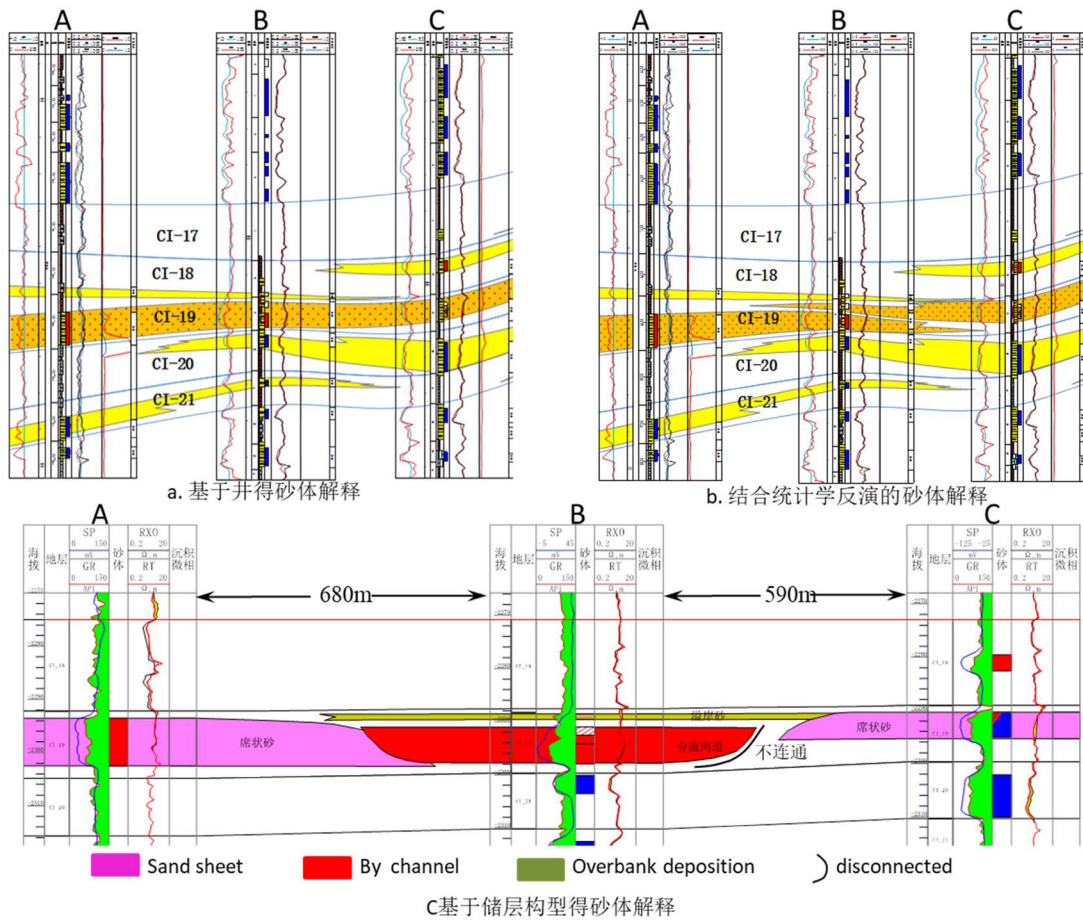


Figure 8. Architecture of monosandbody of 19 layer in AA well block
图 8. AA 井区 19 号单层局部井区单砂体构型表征结果

通过本文方法不仅表征了砂体分布而且刻画出了单期砂体内部大量沉积渗流屏障。基于研究成果提供开发调整建议井位 6 口, 滚动评价建议井位 2 口, 有效指导了油田开发方案的调整, 增油效果明显。

参考文献

- [1] 李斌, 苏洲, 孙琦, 等. 超深薄储层综合预测技术在英买力地区的应用[J]. 石油地球物理勘探, 2018, 53(增刊 2): 272-277.
- [2] Su, Z., Liu, Y.F., Han, J.F., *et al.* (2020) Application of Ultra-Deep Sandstone Reservoirs Prediction Technology under Controlled Seismic Facies in Yudong Block of Tabei Uplift, Tarim Basin, China. *Journal of Natural Gas Geoscience*, 5, 157-167. <https://doi.org/10.1016/j.jnggs.2020.05.001>
- [3] 王延光, 李浩, 李国发, 等. 一种用于薄层和薄互层砂体厚度估算的复合地震属性[J]. 石油地球物理勘探, 2020, 55(1): 153-159.
- [4] 罗泽, 谢明英, 涂志勇, 等. 一套针对高泥质疏松砂岩薄储层的识别技术——以珠江口盆地 X 油田为例[J]. 岩性油气藏, 2019, 31(6): 95-100.
- [5] 李雪英, 李东庆, 白诗缘. 薄层研究方法综述[J]. 地球物理学进展, 2017, 29(5): 2197-2203.
- [6] 郭翔, 李付雷, 张旭峰, 等. 地震波形相控反演在天草凹陷白垩系薄储层预测中的应用[J]. 特征油气藏, 2019, 26(5): 38-43.
- [7] 周超宇. 地质统计学反演技术在溱潼南华地区薄砂层的预测应用[J]. 非常规油气, 2018, 5(4): 23-26.
- [8] 马成龙. 融频反演技术在 J31 块薄储层预测中的应用[J]. 天然气与石油, 2018, 36(4): 68-71.
- [9] 李庆忠. 走向精确勘探的道路[M]. 北京: 石油工业出版社, 1993: 17-24.
- [10] 曾洪流. 地震沉积学译文集[M]. 北京: 石油工业出版社, 2011: 1-11.
- [11] 李明, 侯连华, 邹才能, 等. 岩性地层油气藏地球物理勘探技术与应用[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005: 97-112.